

COMMUNAUTÉ FRANÇAISE DE BELGIQUE
UNIVERSITÉ DE LIÈGE – GEMBLoux AGRO-BIO TECH

**Analyse des risques liés à l'emploi des pesticides et
mesure de la performance de la lutte intégrée en
culture de tomate au Burkina Faso**

Diakalia SON

Essai présenté en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences
agronomiques et ingénierie biologique

Promoteur : Prof. Bruno SCHIFFERS (ULg, Belgique)

Co-promoteur : Prof. Irénée SOMDA (UNB, Burkina Faso)

Année civile 2018

Copyright

Cette œuvre est sous licence Creative Commons. Vous êtes libre de reproduire, de modifier, de distribuer et de communiquer cette création au public selon les conditions suivantes :

- paternité (BY) : vous devez citer le nom de l'auteur original de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l'œuvre) ;
- pas d'utilisation commerciale (NC) : vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales ;
- partage des conditions initiales à l'identique (SA) : si vous modifiez, transformez ou adaptez cette création, vous n'avez le droit de distribuer la création qui en résulte que sous un contrat identique à celui-ci. À chaque réutilisation ou distribution de cette création, vous devez faire apparaître clairement au public les conditions contractuelles de sa mise à disposition. Chacune de ces conditions peut être levée si vous obtenez l'autorisation du titulaire des droits sur cette œuvre. Rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint le droit moral de l'auteur.

Diakalia SON (2018) Analyse des risques liés à l'emploi des pesticides et mesure de la performance de la lutte intégrée en culture de tomate au Burkina Faso (Thèse de doctorat). Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique (234 pages, 39 Figures, 33 Tableaux).

Résumé

Au Burkina, la filière tomate (*Solanum lycopersicum* L.) joue un rôle socio-économique très important. Cependant, sa production est confrontée à de nombreuses contraintes, parmi lesquelles les attaques des insectes ravageurs pouvant induire des pertes allant de 50 à 100% de la récolte. L'inventaire de l'entomofaune réalisé en 2015, 2016 et 2017 dans les communes de Kouka, Faramana, Ouahigouya et Bobo-Dioulasso à l'aide de pièges jaunes à eau, a montré que les familles d'insectes ravageurs nuisibles à la culture de la tomate au Burkina Faso sont les Aleyrodidae, les Aphididae, les Acrididae, les Agromyzidae, les Arctiidae, les Gelechiidae, les Noctuidae et les Tephritidae. Des insectes utiles des familles de Coccinellidae, Reduviidae, Ichneumonidae, Sphecidae et Pompilidae ont été aussi inventoriés. Pour faire face aux bioagresseurs, la lutte chimique est la plus utilisée par les producteurs, alors que les enquêtes menées en 2015 et 2016 auprès de 316 producteurs de tomate dans le but de caractériser les pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs ont montré un taux d'analphabétisme élevé (70%) et un faible niveau de formation des producteurs (9%). Quatre-vingt-dix pour cent des pesticides utilisés par les producteurs en culture de tomate sont achetés sur les marchés locaux sans garantie de conformité ou de qualité et 71% d'entre eux sont formulés pour le cotonnier. La lambda-cyhalothrine a été la substance active la plus utilisée. Les doses utilisées par les producteurs ont été supérieures à celles recommandées et plus de 70 % des maraîchers n'observent aucune mesure de protection adéquate pendant l'utilisation des pesticides. Les délais avant récolte ne sont pas respectés et les contenants vides de pesticides sont abandonnés sur les lieux de traitement. L'indicateur de fréquence de traitement (IFT) montre une forte dépendance des producteurs aux pesticides alors que l'évaluation de l'exposition prédictive avec le modèle Predictive Operator Exposure Model (UK POEM), a montré une forte exposition des producteurs aux pesticides, avec des niveaux d'exposition prédictive allant de 0,0105 mg/kg pc/jour à 1,7855 mg/kg pc/jour, soit plusieurs fois au-dessus du niveau d'exposition acceptable pour l'opérateur (AOEL). L'étude a montré également que l'exposition pourrait être considérablement réduite si l'équipement de protection individuelle requis est porté. Des échantillons de tomates, d'eaux et de sols prélevés auprès des producteurs de Kouka et de Bobo-Dioulasso et analysés au laboratoire de PRIMORIS (Belgique), ont montré une contamination des tomates et sols aux résidus de pesticides. Les substances actives les plus retrouvées ont été la lambda-cyhalothrine, le profénofos et le chlorpyrifos-éthyl. Seul le chlorpyrifos-éthyl a présenté un niveau de résidus supérieur à sa limite maximale de résidus (LMR) dans les tomates (360% de la LMR), mais sans risque d'intoxication aiguë pour les consommateurs selon les calculs de la dose prévisible à court terme (PSTI). Cependant, la consommation continue des fruits avec des

concentrations élevées de résidus de pesticides pourrait avoir des effets néfastes sur la santé humaine, car une fois ingéré, le chlorpyrifos passe rapidement des intestins à la circulation sanguine, où il est distribué au reste du corps. Pour réduire l'utilisation systématique des pesticides chimiques en production de tomate, des essais ont été conduits en 2016 avec les biopesticides (BIO K 16, H-N et PiOL) dans la commune de Kouka. Il ressort de cette étude qu'une bonne combinaison des pesticides chimiques avec les biopesticides permet de fournir à la fois la meilleure protection des fruits et les rendements les plus élevés par rapport à la lutte chimique classique. La combinaison *Bacillus thuringiensis*-abamectine a fourni à la fois la meilleure protection des fruits et le rendement le plus élevé en tomate (2 kg/m²). Afin d'atténuer le problème d'exposition des producteurs aux pesticides, des essais de lutte intégrée (IPM) basés sur la culture de la tomate en association avec les plantes aromatiques (ail, basilic, oignon) ont été comparés aux pratiques habituelles des producteurs dans la commune de Bobo-Dioulasso. Toutes les pratiques de lutte intégrée ont donné les meilleurs résultats en termes de protection des cultures et de rendement avec une faible utilisation d'engrais azotés et de produits phytosanitaires par rapport aux pratiques paysannes. L'association tomate-oignon a fourni le meilleur rendement en fruits (3 kg/m²) par rapport aux pratiques paysannes et autres IPM. Des actions de sensibilisation et de formation des producteurs aux meilleures pratiques agricoles et phytosanitaires et à la mise en œuvre de méthodes de lutte intégrée sont nécessaires pour prévenir l'exposition aux pesticides des producteurs, des consommateurs et les dommages sur l'environnement au Burkina Faso.

Mots clés : Tomate, pratiques phytosanitaires, évaluation de risques, IPM, Burkina Faso.

Diakalia SON (2018) Analysis of the risks associated with pesticides use and measurement of Integrated Pest Management performance in tomato crops in Burkina Faso (PhD thesis). Gembloux, Belgium, University of Liege – Gembloux Agro-Bio Tech, (234 pages, 39 figures 33 tables).

Abstract

In Burkina, tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation plays a very important socio-economic role. However, its production faced many constraints, like insect pests attacks which can induce crop losses ranging from 50 to 100%. The inventory of the entomofauna carried out in 2015, 2016 and 2017 in the communes of Kouka, Faramana, Ouahigouya and Bobo-Dioulasso, by using yellow water traps, has shown that the main pest families of tomato in Burkina Faso are Aleyrodidae, Aphididae, Acrididae, Agromyzidae, Arctiidae, Gelechiidae, Noctuidae and Tephritidae. Useful insects from Coccinellidae, Reduviidae, Ichneumonidae, Sphecidae and Pompilidae families have also been identified. To combat these pests, producers mainly used chemical control, while surveys carried out in 2015 and 2016 among 316 tomato producers in order to characterize farmers' agricultural and phytosanitary practices, showed a high illiteracy rate (70%) and a low training level of producers (9%). Ninety percent of pesticides used by tomato producers are purchased in local markets without guarantee of conformity or quality and 71% of them are formulated for cotton crop. Lambda-cyhalothrin was the most used active substance. The doses used by producers were higher than those recommended and more than 70% of market gardeners do not observe any measure of adequate protection during pesticides use. Deadlines without preharvest treatment are not respected and empty containers of pesticides are left in fields after treatments. The frequency treatment indicator (FTI) showed a high dependence of producers to pesticides whereas the evaluation of predictive exposure with the predictive operator exposure model (UK POEM), showed a high exposure of producers to pesticides, with predictive exposure levels ranging from 0.0105 mg / kg bw / day to 1.7855 mg / kg bw / day, several times higher than the acceptable operator exposure level (AOEL). The study also showed that exposure could be greatly reduced if the required personal protective equipment (PPE) is worn. Samples of tomato fruits, water and soil collected from producers in Kouka and Bobo-Dioulasso and analyzed by PRIMORIS laboratory (Belgium) showed a contamination of tomatoes and soils with pesticide residues. The most active substances found were lambda-cyhalothrin, profenofos and chlorpyrifos-ethyl. Only chlorpyrifos-ethyl showed a residue level above its maximum residue limit (MRL) in tomatoes (360% of MRL), without acute intoxication risk for consumers according to the calculations of the Predictable Short Term Intake (PSTI). However, continuous consumption of fruits with high pesticide residue concentrations could lead to adverse effects on human health, as once ingested, chlorpyrifos passes rapidly from intestines to bloodstream where it is distributed to the rest of the body. To reduce chemical pesticides use in tomato production, the effectiveness of three biopesticides (BIO K 16, H-N and PiOL) was assessed in 2015-2016 in the commune of Kouka. This study showed that a good

combination of chemical pesticides with biopesticides provides best fruit protection and highest yields compared to conventional chemical control. The combination *Bacillus thuringiensis*-abamectin has provided both the best fruit protection and the highest tomato yield (2 kg/m²). In order to mitigate the problem of producer exposure to pesticides, IPM trials based on tomato crop in association with aromatic plants (basil, garlic, onion) were compared to the usual practices of producers, in the commune of Bobo-Dioulasso. All IPM practices yielded the best results in terms of crop protection and yields with low use of nitrogen fertilizers and plant protection products compared to producers practices. The tomato-onion association provided the best fruit yield (3 kg / m²) compared to peasant and other IPM practices. Awareness-raising and producers training measures on better agricultural and phytosanitary practices and implementation of IPM methods are necessary to prevent producer, or consumers' exposure to pesticides and damage to the environment in Burkina Faso.

Key words: Tomato, phytosanitary practices, risk assessment, IPM, Burkina Faso.

Remerciements

Si le fruit de cette thèse peut se résumer en quelques dizaines de pages, sa réalisation fut à la fois une expérience professionnelle enrichissante et une expérience humaine hors du commun. Cette expérience de vie tant rêvée, m'a permis d'apprendre, de partager, d'échanger, mais surtout de rencontrer, côtoyer et collaborer avec de nombreuses personnes, sans qui ce projet n'aurait pas pu être mené à bien. Je les remercie donc ici, en priant celles que j'aurais la maladresse d'oublier de bien vouloir m'en excuser.

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet : « **Projet de renforcement des capacités de diagnostic et de gestion intégrée des problèmes phytosanitaires au Burkina Faso** » entièrement financé par l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) de Belgique. Je voudrais ici lui manifester ma gratitude et particulièrement à Madame Fanny Bernard responsable de la coopération au développement.

Mes remerciements vont également à l'endroit du Professeur Anne LEGREVE, coordonnatrice de ce projet pour son accompagnement dans la réalisation de cette thèse.

Je voudrais ensuite témoigner ma reconnaissance au Professeur Bruno SCHIFFERS, qui a suivi toutes les étapes de mon labeur et qui a fait preuve d'une grande disponibilité et d'une immense patience. Professeur SCHIFFERS, malgré vos charges académiques multiples, vous avez su toujours réaménager votre temps, vous privant ainsi de repos, pour le suivi, les critiques constructives et les amendements de cette thèse. Votre "rigueur dans le travail" m'a forgé une personnalité responsable. Professeur, une fois de plus, un très grand merci à vous pour avoir accepté d'initier mes premiers pas dans le monde de la recherche. J'espère avoir été à la hauteur de vos attentes et de vos espérances.

Je tiens aussi à réitérer mes remerciements au Professeur Irénée SOMDA, mon promoteur du pays (Burkina Faso) et coordinateur local du projet PIC qui a mis à notre disposition les moyens nécessaires pour les activités du terrain et qui a bien voulu accepter d'être le garant scientifique de la présente thèse au Burkina Faso. Professeur, une fois de plus, merci pour la confiance que vous avez placée en moi durant ces quatre années de thèse et pour l'encadrement.

Je n'oublie pas le Professeur Frédéric FRANCIS, chef du laboratoire d'entomologie fonctionnelle et évolutive de Gembloux et son équipe de nous avoir appuyés dans la détermination de l'entomofaune de la tomate au Burkina Faso.

Mes remerciements vont à l'ensemble des membres de mon comité de thèse qui m'ont prodigué leurs conseils apportés tout au long de cette recherche, ainsi qu'aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer la qualité de ce travail. Chers professeurs, recevez dans ces lignes mes remerciements et mes salutations les plus profonds du cœur, pour l'attention que vous avez portée à cette thèse.

Je tiens à remercier les autorités burkinabè et particulièrement celles du Ministère en charge de l'agriculture pour m'avoir accordé la mise en position de stage pour la

réalisation de cette thèse qui pour moi, apportera un plus au développement de l'agriculture burkinabè.

Je réitère ma gratitude à toute l'administration et à l'ensemble du corps enseignant de l'université de Liège (Belgique) et de l'Université Nazi Boni (Burkina Faso) pour leur accompagnement au cours de ces quatre années de thèse.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des membres du projet PIC de la Belgique et du Burkina Faso qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

Tout le personnel scientifique du laboratoire SyNAIE (Systèmes Naturels, Agrosystèmes et Ingénierie de l'Environnement) de l'Institut du Développement Rural du Burkina Faso, pour leurs conseils et leur soutien moral et technique.

Au personnel du laboratoire de phytopharmacie de Gembloux Agro Bio-Tech en l'occurrence, Mme Fabienne PISCART pour son soutien multiforme au cours de la réalisation de cette thèse.

Je tiens à remercier également le personnel du service social de Gembloux et particulièrement Mme Françoise DECAMP, Mme Joëlle HAINE et les gestionnaires de la Maison Nord-Sud M. Thierry HENCKAERTS et Mme Alix RAWAY pour leurs accueils chaleureux lors de mes séjours à Gembloux.

Au cours de mes séjours en Belgique, j'ai rencontré des amis, que je ne peux oublier. Il s'agit notamment de : Abdoul Ibrachi GOUDA, Klèma Marcel KONE, Toumi KHAOULA, Dr Boni Barthélémy YAROU, Chauvelin DOUH, Dr Kasso DAÏNOU, Dr Félicien TOSSO, Dr Sandrine M. Loudit BAYENDI, Abdoul Razack SARE, Koly GOEPOGUI, Tamia Akoua KOUAKOU, Hassane Ganda ISMAEL, Moustapha Hiya MAIDAWA, Barka Abakoura GADA, Dr Abdou ZOURÉ, Karimoun MASSALATCHI ILLYASSOU, pour ne citer que ceux-là. Je tiens à les remercier pour la bonne ambiance entretenue durant toute cette formation et avec qui nous avons partagé des expériences.

A mes amis et collègues de service : Célestin Pascal KABORE, Désiré BONDE, Mahamandou SOURA dit Moussodougou, Amara OUATTARA, Fousséni OUATTARA, Drissa TOE, Lassa KONATE, Ténin TRAORE, Joel B. ZEMBA, Eric OUEDRAOGO et à tous ceux dont les noms n'ont pu être cités pour leur esprit de fraternité et d'amitié.

J'adresse ma profonde reconnaissance à mon épouse (Mariam SON / SOURA) et mon cher enfant (SON Ourouh Mohamed) qui ont parfois souffert de mon absence auprès d'eux pendant ces longues années d'études.

Je réitère ma profonde gratitude à mon père et à ma mère qui ont su que « mon salut passe par l'instruction » et qui m'ont transmis les valeurs essentielles de la vie.

Mes remerciements vont à tous mes frères, sœurs et amis de Malon, mon village natal, pour leur esprit de fraternité, d'accompagnement et de sympathie.

A tous, un seul mot s'impose et suffit à charrier tous les gestes de reconnaissance :

MERCI !!!

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	v
Remerciements	vii
Table des matières	ix
Liste des figures.....	xvi
Liste des tableaux	xviii
Sigles et abréviations.....	xx
Chapitre 1	1
Introduction générale.....	1
1.1. Problématique.....	2
1.2. Questions de recherche et objectifs de la thèse	4
1.2.1. <i>Questions de recherche</i>	4
1.2.2. <i>Objectifs de la thèse</i>	4
1.3. Structuration de la thèse	5
Partie I : Synthèse bibliographique.....	6
Chapitre 2	7
Production agricole et maraîchère au Burkina Faso.....	7
2.1. Production agricole au Burkina Faso.....	8
2.2. Production maraîchère au Burkina Faso.....	9
2.2.1. <i>Zones de production et principaux légumes produits au Burkina Faso</i>	10
2.2.2. <i>Typologie des zones de production</i>	11
2.2.2.1. Exploitations urbaines	11
2.2.2.2. Exploitations périurbaines	11
2.2.2.3. Exploitations maraîchères rurales.....	12
2.2.3. <i>Importance socio-économique de la filière maraîchère au Burkina Faso</i> 12	
2.3. Production de la tomate au Burkina Faso	12
2.3.1. <i>Description de la tomate</i>	12
2.3.2. <i>Cycle de développement de la tomate</i>	13
2.3.3. <i>Variétés de tomate cultivées au Burkina Faso</i>	13
2.3.4. <i>Exigences pédoclimatiques de la tomate</i>	14
2.3.4.1. Température.....	14
2.3.4.2. Eau et humidité.....	15
2.3.4.3. Sols	15
2.3.4.4. Fertilisation de la tomate	15
2.3.5. <i>Production et importance socio-économique de la tomate</i>	16
2.3.5.1. Production de la tomate dans le monde et au Burkina Faso	16

2.3.5.2.	Importance socio-économique de la filière tomate au Burkina Faso....	17
2.3.5.3.	Importance nutritionnelle de la tomate	17
2.3.6.	<i>Contraintes liées à la production de la tomate au Burkina Faso</i>	18
2.3.6.1.	Difficultés d'accès aux intrants (semences, produits phytosanitaires, engrais).....	18
2.3.6.2.	Difficultés liées à l'accès aux équipements	19
2.3.6.3.	Difficultés d'ordre technique et naturel	19
2.3.6.4.	Difficultés liées à l'irrigation.....	19
2.3.6.5.	Difficultés liées à l'accès au crédit agricole	19
2.3.6.6.	Difficultés liées à la commercialisation.....	19
2.3.6.7.	Maladies et ravageurs de la tomate rencontrés au Burkina Faso	19
2.3.7.	<i>Méthodes de lutte contre les bioagresseurs de la tomate au Burkina Faso</i>	26
Chapitre 3	27
Production et gestion des pesticides au Burkina Faso	27
3.1.	Production, importation et utilisation des pesticides au Burkina Faso	28
3.1.1.	<i>Définition d'un pesticide</i>	28
3.1.2.	<i>Modes d'action des pesticides</i>	28
3.1.3.	<i>Production des pesticides au Burkina Faso</i>	31
3.1.4.	<i>Importation et distribution des produits phytosanitaires au Burkina Faso</i>	32
3.1.5.	<i>Utilisation des pesticides en production agricole au Burkina Faso</i>	33
3.1.5.1.	Domaines d'utilisation.....	34
3.1.5.1.1.	Circuit d'approvisionnement des producteurs en produits phytosanitaires	34
3.1.5.1.2.	Caractéristiques sociodémographiques des utilisateurs de pesticides et équipements	34
3.1.5.2.	Traitements phytosanitaires et gestion des emballages vides de pesticides.....	35
3.1.6.	<i>Facteurs favorisant l'utilisation des pesticides en production maraîchère au Burkina Faso</i>	36
3.2.	Risques liés à l'usage des produits phytosanitaires	37
3.2.1.	<i>Notions de « danger » et de « risque »</i>	37
3.2.2.	<i>Toxicité des produits phytosanitaires</i>	37
3.2.2.1.	Notion de toxicité d'un produit phytosanitaire	37
3.2.2.2.	Type de toxicité et forme d'intoxication.....	37
3.2.2.3.	Voies d'exposition aux pesticides	38
3.2.2.4.	Facteurs influençant la toxicité des pesticides	38
3.2.2.4.1.	<i>Paramètres liés à la toxicité intrinsèque des pesticides</i>	38
3.2.2.4.2.	<i>Paramètres liés à la tâche réalisée</i>	39
3.2.2.4.3.	<i>Paramètres liés au matériel de pulvérisation</i>	39

3.2.2.4.4.	<i>Paramètres liés aux Equipements de Protection Individuelle (EPI)</i>	39
3.2.2.4.5.	<i>Paramètres liés à l'opérateur</i>	39
3.2.2.4.6.	<i>Paramètres liés aux conditions météorologiques</i>	40
3.2.3.	<i>Analyse des « dangers » et analyse des « risques »</i>	40
3.2.4.	<i>Importance de l'analyse des risques</i>	41
3.2.5.	<i>Composantes de l'analyse des risques</i>	42
3.2.5.1.	Evaluation des risques (risk assessment)	43
3.2.5.2.	Gestion des risques (risk management)	45
3.2.5.3.	Communication sur les risques (risk communication)	45
3.2.6.	<i>Impacts de l'usage des pesticides en production agricole au Burkina Faso</i>	45
3.2.6.1.	Impacts sur la santé humaine	45
3.2.6.2.	Impact sur l'économie du pays	45
3.2.6.3.	Impact sur les organismes et sur la fertilité des sols	46
3.2.6.4.	Impact sur les insectes pollinisateurs, les prédateurs et sur les parasitoïdes	46
3.2.6.5.	Impact sur la qualité des points d'eau et sur les organismes aquatiques	46
3.3.	<i>Gestion des risques liés aux produits phytosanitaires au Burkina Faso</i>	47
3.3.1.	<i>Cadre réglementaire sur la gestion des pesticides au Burkina Faso</i>	47
3.3.2.	<i>Prévention et gestion des risques d'intoxication</i>	49
3.3.2.1.	Elaboration des plans de gestion des pesticides au Burkina Faso	49
3.3.2.2.	Renforcement des capacités techniques et organisationnelles des producteurs	50
3.3.2.3.	Développement des méthodes alternatives	50
3.4.	<i>Gestion intégrée des bioagresseurs en production maraîchère</i>	51
3.4.1.	<i>Définitions de quelques concepts (lutte intégrée, protection intégrée et production intégrée)</i>	51
3.4.1.1.	Lutte intégrée	51
3.4.1.2.	Protection intégrée des cultures	51
3.4.1.3.	Production intégrée	52
3.4.2.	<i>Processus de mise en œuvre de la protection intégrée</i>	52
3.4.2.1.	Connaissance du ou des ravageur(s) et de la culture à mettre en place	52
3.4.2.2.	Mesures indirectes de protection	53
3.4.2.3.	Mesures directes une fois les ravageurs observés dans la culture	55
Partie II : Entomofaune de la tomate au Burkina Faso		56
Introduction sur l'entomofaune de la tomate au Burkina Faso		58
Chapitre 4		59
First record of <i>Tuta absoluta</i> (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso		59
Abstract		60

Acknowledgements	64
Chapitre 5	65
Détermination par piégeage de la diversité et de l'abondance des familles d'insectes associées à la culture de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) au Burkina Faso.....	65
5.1. Résumé	66
5.2. Summary.....	67
5.3. Introduction	68
5.4. Matériel et méthodes	68
5.4.1. Sites d'étude et méthodologie de collecte d'insectes	68
5.4.2. Analyse des données collectées	70
5.5. Résultats.....	71
5.5.1. Abondances de l'entomofaune	71
5.5.2. Diversité entomologique des familles d'insectes capturés dans les pièges placés dans les parcelles de tomate.....	75
5.5.3. Groupes fonctionnels des insectes collectés	75
5.5.4. Dynamique des ravageurs et auxiliaires collectés dans les champs de tomate.....	77
5.5.5. Surveillance spécifique de <i>Tuta absoluta</i>	78
5.6. Discussion.....	79
5.7. Conclusion.....	81
5.8. Remerciements	81
Partie III : Pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs et risques liés à l'usage des pesticides en culture de tomate au Burkina Faso	82
Introduction sur les pratiques phytosanitaires des producteurs et risques liés à l'usage des pesticides en culture de tomate au Burkina Faso	84
Chapitre 6	85
Pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs de tomate au Burkina Faso .	85
6.1. Résumé	86
6.2. Abstract.....	87
6.3. Introduction	88
6.4. Méthodologie d'enquête	88
6.5. Résultats.....	89
6.5.1. Caractéristiques sociodémographiques des producteurs de tomate	89
6.5.2. Pratiques culturelles des producteurs de tomate.....	90
6.5.3. Pression des bioagresseurs et des facteurs abiotiques sur la tomate.....	90
6.5.4. Pratiques phytosanitaires observées et risque pour la santé et l'environnement.....	91
6.6. Discussion.....	94
6.6.1. Influence des pratiques culturelles des producteurs de tomate sur la prolifération des bioagresseurs et la qualité des tomates	94
6.6.2. Facteurs jouant sur l'utilisation des pesticides	94

6.6.3.	<i>Risques pour la santé publique et l'environnement</i>	95
6.7.	Conclusion et recommandations.....	96
6.8.	Remerciements	96
	Chapitre 7	97
	Assessment of tomato (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) producers' exposure level to pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).....	97
7.1.	Summary	98
7.2.	Introduction	99
7.3.	Materials and methods.....	100
7.3.1.	<i>Observation sites</i>	100
7.3.2.	<i>Observations and measurements</i>	101
7.3.3.	<i>Computation of the Health Risk Indexes</i>	101
7.3.4.	<i>Treatments frequency and intensity indicator</i>	102
7.3.5.	<i>The model used to assess producers dermal exposure</i>	103
7.3.6.	<i>Risk characterization</i>	105
7.3.7.	<i>Statistical analysis</i>	105
7.4.	Results	105
7.4.1.	<i>PPP used by the surveyed producers and toxicity of active substances</i> ..	105
7.4.2.	<i>Level of education and PPE worn by tomato producers</i>	109
7.4.3.	<i>Status of sprayers and PPPs dosage</i>	110
7.4.4.	<i>Intensity of treatment and observed carelessness</i>	111
7.4.5.	<i>Exposure risks and health effects witnessed by producers</i>	112
7.5.	Discussion	114
7.6.	Conclusion.....	116
7.7.	Acknowledgement.....	116
	Partie IV : Stratégies de lutte intégrée (IPM) permettant une réduction de l'utilisation des pesticides en production de tomate au Burkina Faso.....	117
	Introduction aux stratégies de lutte intégrée (IPM) en protection de tomate au Burkina Faso.....	118
	Chapitre 8	119
	Comparaison of efficiency and selectivity of three bio-insecticides for the protection of tomatoes in Burkina Faso.....	119
8.1.	Summary	120
8.2.	Introduction	121
8.3.	Materials and methods.....	121
8.3.1.	<i>Field trial</i>	121
8.3.2.	<i>Characteristics and origins of the products</i>	122
8.3.3.	<i>Assessment of damage</i>	124
8.3.4.	<i>Statistical analysis of data</i>	124
8.4.	Results	124

8.4.1.	<i>Health outcomes plots</i>	124
8.4.2.	<i>Pests collected in yellow traps</i>	124
8.4.3.	<i>Evolution of the caterpillar populations in untreated and treated plots</i>	125
8.4.4.	<i>Treatment effects on the caterpillars population and on fruits protection</i>	126
8.4.5.	<i>Treatment effects on fruit yield</i>	127
8.5.	Discussion.....	127
8.6.	Conclusion.....	129
8.7.	Acknowledgements	129
Chapitre 9		131
Effect of plant diversification on pest abundance and tomato yields in two cropping systems in Burkina Faso: Farmer practices and integrated pest management.....		131
9.1.	Abstract.....	132
9.2.	Introduction	133
9.3.	Materials and methods.....	134
9.3.1.	<i>Field trials</i>	134
9.3.2.	<i>Characteristics of the plant protection products used in PP and IPM</i>	135
9.3.3.	<i>Entomofauna collection and assessment of infestation level</i>	137
9.3.4.	<i>Evaluation of yields of different practices (PP and IPM)</i>	137
9.3.5.	<i>Assessment of pesticide residues in vegetables, water and soils</i>	137
9.3.6.	<i>Risk assessment for consumers to pesticide residues</i>	138
9.3.7.	<i>Statistical analyses</i>	138
9.4.	Results	138
9.4.1.	<i>Assessment of cultural and phytosanitary practices in PP and IPM</i>	138
9.4.2.	<i>Evaluation of entomofauna</i>	139
9.4.3.	<i>Insect diversity (taxon family) according to practices</i>	140
9.4.4.	<i>Evaluation of <i>B. tabaci</i> and <i>H. armigera</i> caterpillar populations</i>	141
9.4.5.	<i>Evaluation of yields for PP and IPM practices</i>	142
9.4.6.	<i>Pesticide residues identified in tomato, water and soil samples</i>	143
9.4.7.	<i>Risk assessment for consumers to pesticide residues</i>	145
9.4.8.	<i>Economic profitability of different tomato cropping practices</i>	145
9.5.	Discussion.....	146
9.5.1.	<i>Assessment of cultural and phytosanitary practices</i>	146
9.5.2.	<i>Pests infestation and tomato yield in PP and IPM</i>	146
9.5.3.	<i>Pesticide residues in tomatoes and risk for consumers</i>	147
9.6.	Conclusion.....	148
9.7.	Acknowledgements	148
Partie V : Discussion générale, conclusion, recommandations et perspectives.....		149
Chapitre 10		151
Discussion générale		151

10.1.	Diversité et spécificité de l'entomofaune en culture de tomate au Burkina Faso.....	152
10.2.	Influence des pratiques phytosanitaires en culture de tomate au Burkina Faso et des pesticides utilisés sur l'efficacité du contrôle des bioagresseurs	154
10.3.	Impact des pratiques phytosanitaires des producteurs de tomate sur la santé humaine et sur l'environnement au Burkina Faso.....	155
10.4.	Stratégies de lutte intégrées en production de tomate au Burkina Faso ..	157
	Chapitre 11	159
	Conclusion générale, suggestions et perspectives	159
11.1.	Synthèse des principaux acquis de la thèse	160
11.2.	Limites de la thèse.....	161
11.3.	Suggestions pour le développement de la lutte intégrée en tomate	162
11.4.	Perspectives de recherche.....	165
	Partie VI : Productions scientifiques réalisées durant cette thèse.....	167
	Chapitre 12	169
	Liste des productions scientifiques.....	169
12.1.	Publications	170
12.2.	Présentations orales	170
12.3.	Posters	171
	Références bibliographiques	173
	Annexes	197
	Analyse des résidus de pesticides et effet de <i>Ocimum basilicum</i> L. sur <i>oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	197
	Annexe 2: Efficacy of <i>Ocimum basilicum</i> L. extracts against the tomato wilt (<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>) in Burkina Faso	200

Liste des figures

Figure 1: Zones climatiques du Burkina Faso (Direction de la Météorologie)	9
Figure 2:Tonnage (%) des cultures maraîchères produites au Burkina Faso (campagne 2013/2014).	11
Figure 3: Principales régions de production de tomates au Burkina Faso (campagne 2013-2014).	16
Figure 4 : Sites d'action des insecticides sur l'insecte.....	29
Figure 5 : Cibles des insecticides neurotoxiques.....	30
Figure 6: Evolution des quantités de pesticides liquides (a) et solides (b) importés au Burkina Faso.....	32
Figure 7: Evolution du nombre de distributeurs agréés de pesticides au Burkina Faso.....	33
Figure 8 : Equipement d'application des pesticides en production agricole au Burkina Faso.....	34
Figure 9 : Equipements de protection individuelle (EPI) portés par les producteurs.	35
Figure 10 : Emballages vides laissés au champ (A) et à proximité de point d'eau (B).....	35
Figure 11 : Structure de l'analyse des risques.	42
Figure 12 : Leaf damages on tomato caused by <i>T. absoluta</i> larvae.....	62
Figure 13 : Adult of <i>T. absoluta</i> in tomato plot.....	62
Figure 14 : <i>T. absoluta</i> adult.....	63
Figure 15 : <i>T. absoluta</i> caterpillar.....	63
Figure 16 : <i>T. absoluta</i> pupa.....	63
Figure 17 : Localisation des sites de collecte d'entomofaune de la tomate dans l'Ouest du Burkina Faso.....	69
Figure 18 : Types de pièges utilisés lors de la collecte de l'entomofaune de la tomate : (a) piège jaune à eau ; (b) piège Delta avec capsule à phéromone sexuelle de <i>T. absoluta</i>	70
Figure 19 : Répartition des principaux ordres d'insectes collectés durant trois années (2015, 2016 et 2017) en culture de tomate pendant la grande saison de production (de décembre à mai) dans l'Ouest du Burkina Faso.	72
Figure 20: Indices de mesure de la diversité des familles d'insectes recensées sur culture de tomate, en fonction de l'année de collecte et des localités. H = indice de Shannon, E =indice d'équitabilité D = indice de Simpson.	75
Figure 21: Répartition des différents groupes fonctionnels parmi les insectes collectés dans les champs de tomate dans l'Ouest du Burkina Faso en fonction de l'année de collecte.	76
Figure 22: Répartition des différents groupes fonctionnels parmi les insectes collectés dans les champs de tomates dans l'Ouest du Burkina Faso en fonction des sites et de l'année de collecte.....	76

Figure 23: Dynamique des ravageurs, des prédateurs et des parasitoïdes observés dans les champs de tomate dans l'Ouest du Burkina Faso en fonction du temps.....	78
Figure 24 : Evolution de <i>Tuta absoluta</i> dans les champs de tomates en fonction du temps.	79
Figure 25 : Répartition spatiale des sept communes d'enquêtes et taux d'utilisation des pesticides adaptés au coton en maraîchage en 2015 et 2016.....	89
Figure 26 : Proportion des producteurs de tomate conservant leurs bouillies et pratiquant le reconditionnement des pesticides dans les sept communes étudiées en 2015 et 2016 au Burkina Faso.....	92
Figure 27 : Modes de gestion des emballages vides de pesticides par les producteurs de tomate dans les sept communes étudiées en 2015 et 2016 au Burkina Faso.	92
Figure 28 : Proportion des producteurs de tomate portant des équipements de protection individuelle (EPI) dans les sept communes étudiées en 2015 et 2016 au Burkina Faso.....	93
Figure 29 : Nature des affections ressenties par les producteurs interrogés après l'application des pesticides dans les sept communes étudiées en 2015 et 2016 au Burkina Faso.....	93
Figure 30 : Location of the six observations sites of phytosanitary practices of tomato producers in the communes of Kouka and Toussiana (Burkina Faso).	100
Figure 31 : Screenshot of the UK-POEM model spreadsheet.	104
Figure 32 : Pesticide dosage profile by the 30 tomato producers surveyed in Kouka and Toussiana (Burkina Faso). Delta dose is the ratio of the dose used by the producer (L or g) to the recommended dose for the treated area.....	110
Figure 33 : Comparison of TFI of the six sites observed in the communes of Kouka and Toussiana (Burkina Faso).	111
Figure 34 : Types of carelessness observed during treatments amongst 30 producers in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).	112
Figure 35 : Schéma des stratégies mises en place pour une réduction de l'utilisation des pesticides chimiques et les impacts associés à leur utilisation en production de tomate au Burkina Faso.	118
Figure 36: Evolution of pest populations on untreated plots by trapping.....	125
Figure 37: Evolution of caterpillar populations per treatment ((T0: Control (yellow traps without insecticide treatment); T1: BIO K 16 + ACARIUS 18EC; T2: H-N + ACARIUS 18EC; T3: PiOL + ACARIUS 18EC; T4: ACARIUS 18 EC).....	125
Figure 38: Average number of perforated fruit and number of larvae collected per treatment ((T0: Control (yellow traps without insecticide treatment); T1: BIO K 16 + ACARIUS 18EC; T2: H-N + ACARIUS 18EC; T3: PiOL + ACARIUS 18EC; T4: ACARIUS 18 EC)	126
Figure 39 : Dynamics of <i>B. tabaci</i> (a) and <i>H. armigera</i> caterpillars (b) populations according to practices (T= tomato alone; T+B = tomato with basil; T+G = tomato with garlic and T+O = tomato with onion).....	142

Liste des tableaux

Tableau 1: Principaux caractères distinctifs des variétés de tomate.	13
Tableau 2: Variétés de tomate les plus cultivées au Burkina Faso.	14
Tableau 3: Températures requises pour les différentes phases de développement de la tomate.	15
Tableau 4: Evolution des superficies, des rendements et de la production de la tomate au Burkina Faso (FAOSTAT, 2017a).....	17
Tableau 5: Composition chimique des fruits de la tomate (%).....	18
Tableau 6: Ravageurs d'importance économique de la tomate.	20
Tableau 7: Maladies parasitaires et désordres physiologiques d'importance économique de la tomate au Burkina Faso.	23
Tableau 8 : Classification de l'IRAC selon le mode d'action des insecticides et des acaricides	31
Tableau 9: Valeur d'importation des pesticides au Burkina Faso (FAOSTAT, 2017b).	32
Tableau 10 : Comparaison entre analyse des « dangers » et analyse des « risques »	41
Tableau 11 : Abondances relatives des familles d'insectes collectés durant trois années (2015, 2016 et 2017) dans les champs de tomates pendant la grande saison de production (de décembre à mai) dans l'Ouest du Burkina Faso (abon = abondance ; F(%) = fréquence).....	73
Tableau 12: Evolution du nombre moyen par sites des populations de <i>Tuta absoluta</i>	79
Tableau 13 : Statut social des producteurs de tomate au Burkina Faso (enquête réalisée dans sept communes : Faramana, Kouka, Dano, Dissin, Diébougou, Gaoua et Ouahigouya) en 2015 et 2016.	90
Tableau 14 : Types de pesticides utilisés par les producteurs de tomate dans sept communes du Burkina Faso (Faramana, Kouka, Dano, Dissin, Diébougou, Gaoua et Ouahigouya) en 2015 et 2016.	91
Table 15 : Parameters used in the UK POEM model to estimate producers' potential exposure to pesticides.	104
Table 16 : List of PPPs used by 30 producers in tomato production in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).....	106
Table 17 : Value of the parameters used in the calculation of the Health Risk Index (HRI) and the toxicity of the active substances used for tomato protection in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).	107
Table 18 : Decreasing ranking of the toxicity of pesticides used by producers for tomato protection in Kouka and Toussiana (Burkina Faso) according to the Health Risk Index (HRI).	109

Table 19 : Level of PPE adoption of 30 producers during the use of pesticides in tomato protection in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).	110
Table 20 : TFI values for tomato protection in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).	111
Tableau 21 : Decreasing ranking of the exposure of tomato producers in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).	113
Table 22 : Names, origins and characteristics of the 3 biopesticides and the insecticide ACARIUS 18 EC used for the trial on tomatoes.	123
Table 23 : Dosage, periods and conditions of use of the PPP in the trial.	123
Table 24 : Average weight of healthy and perforated mature fruits, yield (Tons of tomatoes/ha), net yield/ha, yield loss (in %), depending on treatments.	127
Table 25 : List of pesticides used on tomatoes in PP and IPM plots.	135
Table 26 : Monitoring of evolution of the pests population in IPM plots.	136
Table 27 : Amount of fertilizers and PPP used in peasant practices (PP) and IPM plots.	139
Table 28 : Main insect families and their relative abundance on tomato plants according to practices.	139
Table 29 : Distribution of insect types (expressed in number of families) collected in tomato plots according to practices.	141
Table 30 : Average weight of healthy and perforated ripe fruit and net growth yield depending on practices in 60 m ²	143
Table 31 : Residues in tomato and soil samples taken from producers plots in Kouka in 2016 (PP 2016) and Bobo-Dioulasso in 2017 (PP 2017), with their maximum residue limit for tomatoes (MRL, mg/kg), acute reference dose (ARfD, mg/kg bw), half-life time in ground in aerobic condition (TD 50 (days) adsorption coefficient on organic carbon (Koc, mL/kg) according European pesticides database (EU—Pesticides Database, 2017) and SAgE pesticides (2017).	144
Table 32 : Characterization of the acute intoxication risk for consumers (children and adults) exposed to chlorpyrifos-ethyl residues in tomato samples taken from producers in Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).	145
Table 33 : Economic profitability of peasant and IPM practices in tomato production among producers on 60 m ²	146

Sigles et abréviations

ANSES	: Agence nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AFSCA	: Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire
AOEL	: Acceptable Operator Exposure Level
APV	: Autorisation Provisoire de Vente
AREM	: Agricultural Ressources and Environmental Management
ARES	: Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur
ARfD	: Acute Reference Dose
ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CAPES	: Centre d'Analyse des Politiques Economiques et Sociales
CEDEAO	: Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest
CILSS	: Comité Permanent Inter-Etat pour la lutte contre la sécheresse au Sahel
CNCP	: Commission Nationale de Contrôle des Pesticides
CNGP	: Comité National de Gestion des Pesticides
CNRST	: Centre National de Recherche Scientifique et Technologique
COLEACP	: Comité de Liaison Europe-Afrique-Caraïbes-Pacifique
CPF	: Confédération Paysanne du Faso
CSAN	: Centre pour la Sécurité Alimentaire du Niger
CSP	: Comité Sahélien des Pesticides
DAR	: Délai d'emploi de pesticide Avant Récolte
DGACV	: Direction Générale de l'Amélioration du Cadre de Vie
DJA	: Dose Journalière acceptable
DPVC	: Direction de la Protection des Végétaux et du Conditionnement
DRAAF	: Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
EFSA	: European Food Safety Authority
EPI	: Equipements de Protection Individuels (en anglais PPE)
EPPO	: European and Mediterranean Plant Protection Organization
FAO	: Food and Agriculture Organization
GIPD	: Gestion Intégrée de la Production et des Déprédateurs
HACCP	: Hazard Analysis Critical Control Points
HRI	: Health Risk Indexe
IDR	: Institut du Développement Rural
IFDC	: International Fertilizer Development Center
IFT	: Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires
INERA	: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
INERIS	: Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

INSD	: Institut National de la Statistique et de la Démographie
IPM	: Integrated Pest Management
IPPC	: International Plant Protection Convention
IRAC	: Insecticide Resistance Action Committee
JMPR	: Joint Meetings on Pesticide Residues
LMR	: Limite Maximale applicable aux Résidus
MAAF	: Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt
MAAH	: Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques
MAH	: Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique
MAHRH	: Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
MARHASA	: Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire
MECV	: Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie
MEF	: Ministère de l'Economie et des Finances
MESRSI	: Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de l'Innovation
OILB	: Organisation internationale de lutte biologique et intégrée contre les animaux et les plantes nuisibles
OIT	: Organisation Internationale du Travail
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PAFASP	: Programme d'Appui aux Filières Agro-Sylvo-Pastorales
PAN	: Pesticides Action Network
PGPP	: Plans de Gestion des Pestes et Pesticides
PIB	: Produit Intérieur Brut
PIP	: Programme Initiative Pesticides
PNDES	: Plan National de Développement Economique et Social
PNSR	: Programme National du Secteur Rural
POPs	: Polluants Organiques Persistants
PPP	: Plant Protection Products
PSTI	: Predictable Short Term Intake
RECA/Niger	: Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger
SMQS	: Système de Management de la Qualité Sanitaire
SOFITEX	: Société burkinabè des Fibres et Textiles
UCL	: Université Catholique de Louvain
UEMOA	: Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
UK-POEM	: Predictive Operator Exposure Model
ULg	: Université de Liège
UNB	: Université Nazi Boni

Chapitre 1

Introduction générale

1.1. Problématique

Le secteur agricole joue un rôle socio-économique très important au Burkina Faso. Il occupe plus de 80% de la population active et contribue en moyenne pour 33% à la formation du produit intérieur brut (PIB) (PNDES, 2016). Outre sa forte contribution à la sécurité alimentaire, la production végétale fournit plus de 60% des revenus monétaires des ménages agricoles du Burkina Faso (PNSR, 2011). Cependant cette contribution, quoique significative, demeure en deçà des défis alimentaires auxquels le pays est confronté. En effet, le déficit alimentaire continue de se creuser suite aux changements climatiques dont les principaux symptômes observables sont par exemple le tarissement précoce des points d'eau ou au contraire des inondations catastrophiques (MECV, 2007; Ouédraogo, 2012).

Pour faire face à ce déficit alimentaire chronique et procurer plus de revenus aux agriculteurs, l'Etat burkinabè s'est engagé à développer les cultures de saison sèche dont les cultures maraîchères par la création de périmètres irrigués et de jardins maraîchers (CAPES, 2007; MEF, 2010). Pour la campagne maraîchère 2013/2014, plus de 46.500 ha ont été cultivés avec une production de plus de 1.120.000 tonnes (MARHASA, 2014). Le secteur maraîcher emploie directement plus de 600.000 personnes, dont 35% de femmes (MAH, 2011) et génère un revenu annuel moyen de 500.000 FCFA (environ 760 €/an) pour un maraîcher exploitant un hectare de tomates, oignons, pommes de terre et haricots verts en zone non aménagée et de plus de 1.000.000 de FCFA (environ 1.500€/an) en zone aménagée (MAH, 2011). Le secteur maraîcher crée aussi beaucoup d'emplois indirects (ex : commerçants, transporteurs, etc.) et rapporte plus de 10 milliards de francs CFA (15.254.134 €) par an à l'économie nationale avec une contribution de plus de 3% du PIB (MAH, 2011), soit une performance proche de celle du coton (4% du PIB) (MECV, 2011).

Outre sa valeur économique très importante, le secteur horticole contribue à la sécurité alimentaire au Burkina Faso en fournissant à la population une alimentation de qualité, riche en vitamines et oligo-éléments. Une consommation quotidienne et en quantité suffisante des fruits et légumes, contribue à prévenir les maladies cardiovasculaires, l'avitaminose et certains cancers (OMS/FAO, 2004). Selon l'OMS (2002), la faible consommation de fruits et légumes est la cause d'environ 31% des cardiopathies ischémiques et de 11% des accidents vasculaires cérébraux dans le monde. Cette organisation estime que 2,7 millions de vies pourraient être sauvées chaque année en augmentant suffisamment la consommation de fruits et légumes (OMS/FAO, 2004). C'est pourquoi elle recommande une consommation minimale de 400 g de fruits et légumes par jour en prévention de maladies chroniques comme les cardiopathies, le cancer, le diabète ou l'obésité et pour prévenir ou atténuer plusieurs carences en micronutriments (OMS, 2003). Au Burkina Faso, la consommation des fruits et légumes est estimée à seulement 55-63 g/j/habitant (CPF, 2011).

Parmi les cultures maraîchères, la culture de la tomate occupe la deuxième place après l'oignon en termes de superficies cultivées et de volume de production. Sa production est passée de 50.158 tonnes en 2004/2005 à 289.572 tonnes en

2013/2014 (MARHASA, 2014). Cependant, au cours de ces dernières années, elle connaît de nombreuses contraintes dont la pression parasitaire due aux insectes nuisibles (*Bemisia tabaci* Gennadius, *Helicoverpa armigera* Hübner, ...) et aux agents pathogènes (*Fusarium oxysporum* Schldtl, *Ralstonia solanacearum* Smith, ...) (Blancard *et al.*, 2009; Ouattara *et al.*, 2017) qui entraîne une diminution de la production et par conséquent du revenu des maraîchers.

Pour garantir des rendements économiquement rentables et faire face aux exigences croissantes de la population en matière de qualité commerciale des produits (fruits non perforés), les producteurs ont recours à une application importante, et souvent excessive, de produits phytosanitaires parfois plus toxiques pour faire face à des ravageurs dont la résistance augmente avec la répétition des traitements ou à des espèces invasives plus difficiles à combattre. Ainsi, on observe l'emploi sur les cultures maraîchères de pesticides parmi les plus toxiques normalement destinés à la protection du cotonnier (IFDC, 2007; Oyono Ele, 2008; Congo, 2013; Ohui, 2014), un manque de respect des doses prescrites (augmentation des dosages en dépit des recommandations des fabricants) et du calendrier de traitement (spécialement du délai avant récolte), un non-respect des règles de protection des utilisateurs et d'hygiène conseillées lors des traitements (absence de port d'Equipements de Protection Individuelle (EPI) adaptés aux risques) ou encore une élimination inadéquate des restes de produits et des emballages vides (Congo, 2013; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2016a).

Les conséquences sont, entre autres, l'augmentation des coûts de production, l'intoxication des applicateurs et des animaux, l'exposition des consommateurs aux résidus présents dans les produits récoltés, la pollution de l'environnement (contamination des eaux, sols et air) et l'apparition de souches résistantes de bioagresseurs ; sans occulter les impacts des pesticides sur les microorganismes et la macrofaune du sol et sur de nombreux organismes non cibles dont les insectes auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes) (Tasei, 1996; Fernandes *et al.*, 2010; Isenring, 2010; Gountan, 2013; Kolia, 2015; Lehmann *et al.*, 2017).

Trop peu d'études sur les risques liés à l'emploi des pesticides ont été réalisées au Burkina Faso. Quelques études toxicologiques se sont centrées principalement sur la filière coton (Gomgnimbou *et al.*, 2009; Ouattara *et al.*, 2010; Toé, 2010; Ondo Zue Abaga *et al.*, 2011; Bayili, 2014), jusqu'ici considérée comme la culture la plus consommatrice de pesticides au Burkina Faso. Cependant, le développement important du maraîchage au Burkina Faso et l'intensification des traitements phytosanitaires, surtout en production de tomate, qui n'ont été précédés d'aucune étude d'impacts au préalable, justifient en premier lieu de s'intéresser de plus près à la pression des bioagresseurs sur la culture de tomate, aux pratiques actuelles des maraîchers du Burkina Faso ainsi qu'aux risques associés et aux conséquences déjà observables de ces pratiques phytosanitaires. En second lieu, dans un tel contexte de dépendance des maraîchers aux pesticides chimiques, il est nécessaire de chercher à développer d'autres stratégies moins dommageables (variétés résistantes, usage de biopesticides, recours à des méthodes culturales, à la lutte biologique ou à la lutte intégrée), avec la combinaison de méthodes efficaces, rentables et accessibles aux producteurs, pour maîtriser les bioagresseurs tout en réduisant les effets non

souhaités sur la santé ou sur l'environnement. C'est dans ce contexte que se situe cette étude sur le thème: «**Analyse des risques liés à l'emploi des pesticides et mesure de la performance de la lutte intégrée en culture de tomate au Burkina Faso**».

1.2. Questions de recherche et objectifs de la thèse

1.2.1. Questions de recherche

Les questions de recherche assignées à cette étude sont de répondre aux problématiques suivantes :

- La diversité et la pression des bioagresseurs sur la tomate au Burkina Faso nécessitent-elles une attention particulière des producteurs et une intervention ?
- Les insectes auxiliaires sont-ils présents dans les parcelles de tomate au Burkina Faso et pourraient-ils limiter le développement des bioagresseurs si on pouvait les protéger et favoriser leur développement ?
- Les pratiques phytosanitaires des producteurs de tomate du Burkina Faso ont-elles un impact négatif sur la santé des producteurs, des consommateurs et sur l'environnement ?
- Des solutions alternatives accessibles aux producteurs sont-elles envisageables pour élaborer des stratégies de lutte intégrées en production de tomate au Burkina Faso ?

Pour répondre à ces problématiques, les objectifs ci-dessous ont été définis.

1.2.2. Objectifs de la thèse

L'objectif principal de cette thèse est de contribuer à la réduction des risques sanitaires et environnementaux liés à l'usage des pesticides en protection de tomate au Burkina Faso à travers des stratégies de lutte intégrée.

A cet effet, la démarche adoptée repose sur les quatre objectifs spécifiques ci-dessous liés aux questionnements précédents. Il s'agit de :

- 1) Evaluer la diversité et l'abondance de l'entomofaune de la tomate afin de réactualiser la liste des principaux ravageurs de cette culture au Burkina Faso. Pour atteindre cet objectif, des collectes d'entomofaune à l'aide de pièges jaunes à eau et de pièges à phéromone sexuelle de *Tuta absoluta* ont été réalisées.
- 2) Evaluer les pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs de tomate du Burkina Faso et les risques associés à ces pratiques pour les producteurs, les consommateurs et l'environnement. Pour atteindre cet objectif, des enquêtes ont été menées dans un premier temps pour caractériser les pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs pour mieux comprendre d'une part, les relations entre celles-ci et la pression des bioagresseurs et d'autre part, les risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement. Dans un second temps, un suivi rapproché a été réalisé auprès des producteurs de tomate afin d'évaluer leur dépendance aux pesticides et d'estimer les risques d'exposition des opérateurs. Aussi, des échantillons de tomate, d'eau et de sol ont-ils été collectés auprès de

ces maraîchers afin d'évaluer les niveaux de contamination des productions et par là, les risques de contamination des consommateurs et de l'environnement aux résidus de pesticides.

- 3) Proposer des stratégies de lutte intégrée permettant une réduction de l'utilisation des pesticides chimiques en protection de tomate au Burkina Faso. Pour atteindre cet objectif, des essais ont été conduits dans un premier temps en combinant les biopesticides avec les pesticides chimiques dans la lutte contre les ravageurs de la tomate afin de réduire l'utilisation des pesticides plus toxiques. Dans un second temps, pour réduire l'intensité des traitements, des essais basés sur les associations culturales de la tomate avec les plantes répulsives permettant de réduire la pullulation des principaux ravageurs de la tomate ont été conduits.

1.3. Structuration de la thèse

En plus de l'introduction générale, la présente thèse est structurée en six parties :

- La **1^{ère} partie** porte sur une *synthèse bibliographique* sur la production de la tomate et sur la gestion des produits phytosanitaires au Burkina Faso ;
- La **2^{ème} partie** porte sur l'inventaire de l'entomofaune de la tomate au Burkina Faso pour répondre à l'objectif de la thèse ;
- La **3^{ème} partie** intitulée : « *Pratiques phytosanitaires et risques liés à l'usage des pesticides en culture de tomate au Burkina Faso* » a permis de répondre à l'objectif 2 ;
- La **4^{ème} partie** consacrée à la « *Proposition des stratégies de lutte intégrée (IPM) en protection de tomate au Burkina Faso* » a permis de répondre à l'objectif 3 de la thèse ;
- La **5^{ème} partie** fait une discussion générale des résultats obtenus, des conclusions tirées de cette étude et des recommandations et perspectives nécessaires pour une gestion durable des pesticides en production maraîchère au Burkina Faso ;
- Enfin la **6^{ème} partie** présente l'ensemble des productions scientifiques réalisées au cours de cette thèse.

Partie I : Synthèse bibliographique

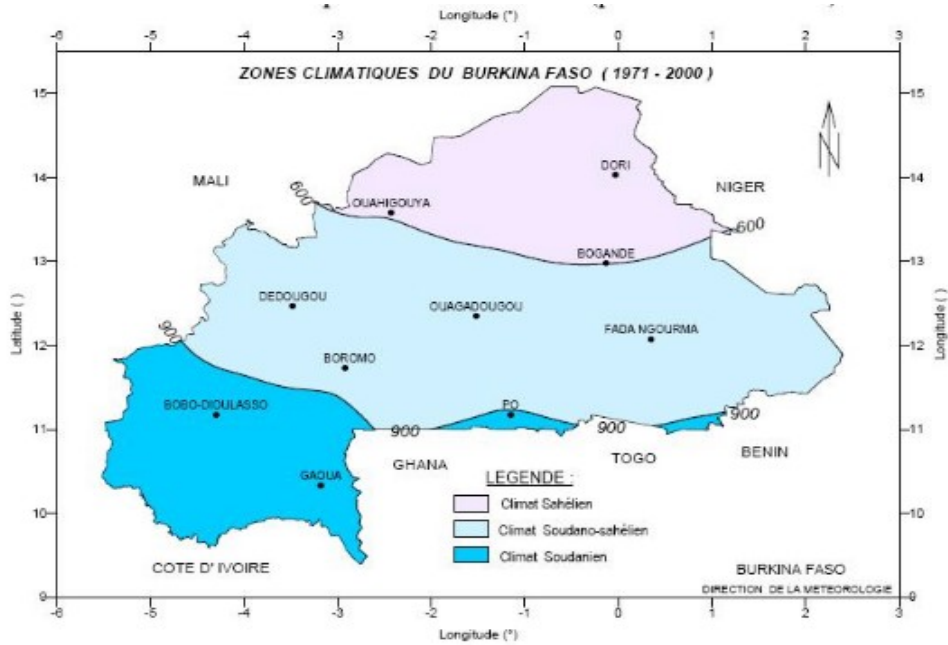
Chapitre 2

**Production agricole et maraîchère au
Burkina Faso**

2.1. Production agricole au Burkina Faso

Situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest et sans accès direct à la mer, le Burkina Faso est un pays à vocation agricole. Son climat est à dominance sahélienne avec une zone plus humide au Sud. Le pays est subdivisé en trois principales zones climatiques en fonction de la pluviométrie annuelle moyenne (Figure 1) : la zone sahélienne au Nord (300-600 mm/an), la zone sub-sahélienne (ou soudano-sahélienne) au centre (600-900 mm/an) et la zone nord soudanienne au Sud (900-1200 mm/an) (Ibrahim, 2013). Le climat du pays est composé de deux saisons: la saison sèche allant de novembre à mai et caractérisée par la présence de l'harmattan, vent chaud venu du Sahara, entre décembre et février, et une chaleur importante à partir du mois de mars. La saison des pluies s'étend de juin à octobre.

Le secteur agro-sylvo-pastoral qui occupe plus de 90% de la population active, constitue une composante déterminante de l'économie du pays. Il intervient pour près de 40% dans la formation du PIB (agriculture 25%, élevage 12%, foresterie et pêche 3%) (PNSR, 2011). La superficie en terres cultivables est estimée à 9 millions d'hectares dont environ 46% sont actuellement exploités (PNSR, 2011). Les céréales (mil, sorgho, maïs, riz, fonio) constituent les principales productions végétales au Burkina Faso et occupe 78% des superficies exploitées. Les superficies emblavées par ces céréales au cours de cette campagne agricole 2016/2017 est estimée à 4.017.586 hectares avec une production estimée à 4.567.066 tonnes, soit une hausse de 9,01% par rapport à la dernière campagne agricole et une hausse de 3,36% par rapport à la moyenne des cinq dernières années (MAAH, 2017a). Le maïs occupe la première place avec 1.469.612 tonnes sur une superficie de 911.728 ha (MAAH, 2017a). Quant aux cultures de rentes (coton, sésame, arachide, soja), elles sont pratiquées sur environ 19% des superficies totales emblavées (PNSR, 2011). Les superficies emblavées étaient estimées à 1.552.465 hectares au cours de la campagne agricole 2016/2017 avec une production totale de 1.493.900 tonnes (MAAH, 2017a). Le coton occupe la première place avec 768.930 tonnes sur une superficie de 667.840 ha. Les cultures horticoles dominées par l'oignon, la tomate, le chou, le haricot vert et la pomme de terre, occupent environ 17% de la production agricole (World Bank, 2015).



Source : MECV, 2007

Figure 1: Zones climatiques du Burkina Faso (Direction de la Météorologie)

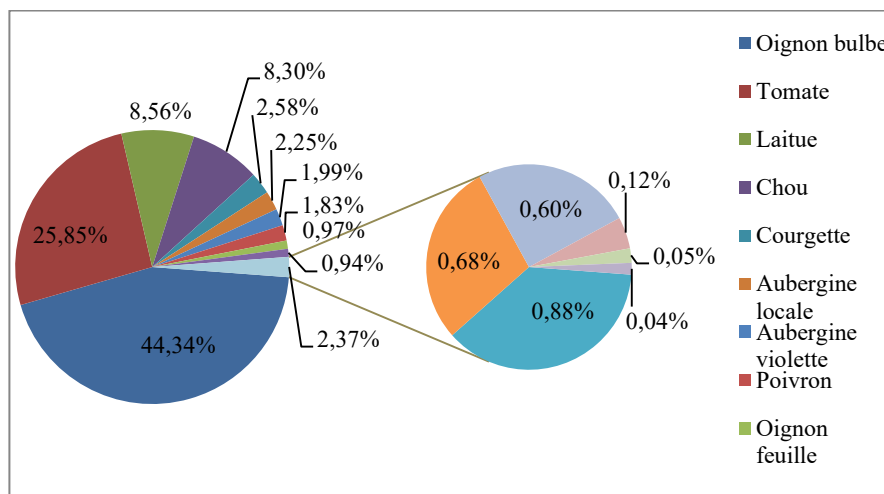
2.2. Production maraîchère au Burkina Faso

Malgré que le Burkina Faso soit un pays à vocation agricole et où plus 80% des 16 millions d'habitants tirent leurs revenus de l'agriculture, l'accès à une alimentation saine et en quantité suffisante par les populations se pose avec acuité. Ce déficit alimentaire s'est accentué récemment en raison de périodes de sécheresse prolongées (avec un tarissement précoce des points d'eau) ou au contraire d'inondations catastrophiques, consécutives au réchauffement climatique (MECV, 2007; Ouédraogo, 2012). Pour faire face à ce déficit alimentaire chronique, l'Etat burkinabè s'est engagé à développer les cultures maraîchères, qui contribuent significativement à la sécurité alimentaire et à la lutte contre le chômage (MAHRH, 2007; MEF, 2010). Cette agriculture qui se pratique principalement en saison sèche, s'impose de plus en plus sur le plan socioéconomique de par le nombre des acteurs qui en profitent directement ou indirectement. Il constitue en effet une source importante d'emplois et de revenus pour de nombreux producteurs dans les milieux urbains, périurbains et surtout des rives des fleuves et/ou des vallées de certaines zones (CAPES, 2007; MAHRH, 2007; MAH, 2011). Sur le plan national, la production maraîchère est marquée par une large diversification spécifique et variétale. Plusieurs espèces et variétés exotiques et locales de légumes sont produites. C'est une activité qui se rencontre dans presque toutes les régions du pays, mais son ampleur varie très considérablement entre région et producteurs.

2.2.1. Zones de production et principaux légumes produits au Burkina Faso

Au Burkina Faso, la production maraîchère est pratiquée dans toutes les régions, avec une disparité d'une région à une autre et d'une province à une autre due essentiellement à la disponibilité des ressources en terre (existence de bas-fonds en général) et en eau pendant la saison sèche (MAH, 2011). La région du Nord dispose du plus grand nombre de sites maraîchers avec 842 sites sur une estimation de 4.844 sites, soit 17,4% de l'ensemble des sites recensés du pays. Elle est suivie de la région des Hauts-Bassins avec 561 sites (soit 11,6% des sites) et de celle du Centre-sud avec 523 sites (soit 10,8%). La région du Centre dispose du plus petit nombre de sites (avec 157 sites, soit 3,2% de l'ensemble national), après le Sahel et les Cascades avec respectivement 209 sites (soit 4,3%) et 242 sites (soit 5,0%). En termes de répartition par province, la province du Yatenga vient en tête avec 613 sites maraîchers, soit 12,7% de l'effectif national. La province du Bazèga vient en deuxième position avec 351 sites (soit 7,2% du total des sites du pays) et celle du Houet en troisième position avec 247 sites (soit 5,1% de l'ensemble des sites). Les provinces du Nayala et de la Kompienga avec respectivement 9 sites (soit 0,2% de l'ensemble) et 20 sites (soit 0,4% des sites) présentent les plus faibles proportions en matière de sites maraîchers au Burkina Faso (MAH, 2011).

La production maraîchère est caractérisée par une gamme très variée de légumes cultivés. Avec l'aménagement des périmètres irrigués et des retenues d'eau, les cultures ne cessent de prendre de l'ampleur au fil des années. En effet, l'ensemble des aires emblavées pour la culture des légumes est passé de 4.334 ha en 1997 à 46.529 ha en 2014 (MARHASA, 2014), soit un accroissement de 974%. Quant aux productions, elles sont passées de 79.772 tonnes en 1997 à 1.120.203 tonnes en 2014, soit une hausse de 1.304%. L'oignon, la tomate, la laitue et le chou, sont les principales spéculations produites en termes de superficies et de tonnage comme l'indique la **Figure 2**.



Source : MARHASA (2014)

Figure 2: Tonnage (%) des cultures maraîchères produites au Burkina Faso (campagne 2013/2014).

2.2.2. Typologie des zones de production

Au Burkina Faso, les cultures maraîchères sont pratiquées presque exclusivement dans des bas-fonds, autour des barrages, des lacs et des cours d'eau (rivière ou fleuve) autour des grands centres urbains et des zones aménagées. On distingue des exploitations urbaines, périurbaines et rurales (CAPES, 2007).

2.2.2.1. Exploitations urbaines

Ce sont des parcelles situées à l'intérieur des villes aux abords des cours d'eau qui les traversent (cas des parcelles maraîchères situées sur les deux rives du Houet dans la ville de Bobo-Dioulasso) ou à l'aval et autour des barrages à l'intérieur des villes (cas des parcelles maraîchères situées en aval des barrages de Boulmiougou et de Tanghin Barrage dans la ville de Ouagadougou). Les produits sont en priorité destinés à la vente immédiate dans les villes où ces exploitations sont installées. Les spéculations à cycle très court (laitue, chou, persil, amarante, céleri, épinard, gombo, oignon feuille et le piment) sont généralement les plus cultivées. Chaque producteur exploite en moyenne entre 100 et 500 m² de surface.

2.2.2.2. Exploitations périurbaines

On définit par « exploitations périurbaines » celles situées à l'extérieur des villes aux abords des retenues d'eau permanentes ou temporaires (puits, forages, barrages) mais situées à des distances de 25 km environ autour des villes (CAPES, 2007). C'est le cas des périmètres maraîchers de Saaba, Koubri, Loumbila, etc. autour de Ouagadougou. C'est également le cas de Lebroudougou et Tengrela à Banfora ; des périmètres maraîchers de Bama pour la ville de Bobo-Dioulasso et de Goïnré pour la ville de Ouahigouya. Les produits sont en priorité destinés à la vente immédiate dans les villes les plus proches et les spéculations sont plus diversifiées allant aux

spéculations à cycle court (laitue, persil, amarante, céleri, haricot vert, oignon feuille, haricot feuille, etc.) aux spéculations à cycle long (tomate, oignon bulbe, chou, poivron, piment etc.). Chaque exploitant a en moyenne entre 100 et 10.000 m² (CAPES, 2007).

2.2.2.3. Exploitations maraîchères rurales

On appelle exploitations maraîchères rurales, toutes les exploitations sous irrigation situées en zones rurales qu'elles soient aménagées ou non. On trouve dans cette catégorie les grands périmètres aménagés qui reçoivent un encadrement soit de l'état, soit d'ONG. C'est notamment le cas du périmètre maraîcher de Sourou, de Guédougou, de Kongounsi, du Lac Dem, etc. Les exploitants sur ces périmètres travaillent sur de grandes parcelles (500 à 10.000 m²) et les spéculations produites sont généralement celles de cycle long et supportant le transport (oignon, tomate, chou, aubergine, haricot vert, pomme de terre). Les productions sont soit destinées à la consommation dans les grandes villes du Burkina Faso ou soit à l'exportation dans la sous-région (tomate au Ghana et au Togo, chou et oignon en Côte-d'Ivoire) (CAPES, 2007).

2.2.3. Importance socio-économique de la filière maraîchère au Burkina Faso

La production maraîchère occupe une place stratégique dans le développement socio-économique du Burkina Faso. En effet, ce secteur emploie plus de 600.000 personnes, dont 35% de femmes (MAH, 2011) et génère un revenu annuel moyen de 500.000 FCFA (environ 760 €/an) pour un maraîcher exploitant 1 ha de tomate, oignon, pomme de terre et haricot vert en zone non aménagée et de plus de 1.000.000 de FCFA (environ 1.500€/an) en zone aménagée (MAH, 2011). Il rapporte également plus de 10 milliards de francs CFA (15.254.134 €) par an à l'économie nationale avec une contribution de plus de 3% du PIB (MAH, 2011), soit une performance proche de celle du coton (4% du PIB) (MECV, 2011). Outre sa valeur économique, le secteur horticole contribue à la sécurité alimentaire au Burkina Faso en fournissant des vitamines et oligo-éléments à la population.

2.3. Production de la tomate au Burkina Faso

2.3.1. Description de la tomate

Originnaire des Andes d'Amérique du Sud, la tomate fait partie de la famille des solanacées aux côtés de la pomme de terre, de l'aubergine, du poivron et du piment (Elise *et al.*, 1989). Selon Spooner *et al.* (1993), LINNE (1753) l'avait inclus dans le genre *Solanum*, en la nommant *Solanum lycopersicum* mais MILLER (1754) la renomma *Lycopersicon esculentum*, en créant le genre *Lycopersicon*. S'appuyant sur les techniques modernes de biologie moléculaire, la taxonomie actuelle a replacé la tomate dans le genre *Solanum*, section *Lycopersicon*. et son nom est désormais *Solanum lycopersicum* L. (Spooner *et al.*, 1993).

2.3.2. Cycle de développement de la tomate

La tomate est une herbacée cultivée comme une plante annuelle (Elise *et al.*, 1989). La jeune plante produit 7 à 14 feuilles composées avant de développer sa première inflorescence. La floraison débute 56 à 70 jours après semis avec une première inflorescence de 4 à 12 fleurs qui donnera le premier bouquet de fruits. La maturation des fruits intervient 42 à 56 jours après le plein développement de la fleur. Le cycle de production est compris entre 80 et 120 jours (Spooner *et al.*, 1993). Selon le nombre de feuilles qui séparent deux bouquets floraux, on distingue des variétés à croissance «déterminée» et des variétés à croissance «indéterminée» (Blancard *et al.*, 2009). Chez les variétés à croissance déterminée, les sympodes comportent 1 à 3 feuilles et la formation des inflorescences n'est pas suivie de rameaux à l'aisselle de la dernière feuille formée. A l'opposé, les variétés dites indéterminées présentent une croissance sympodiale. Chaque sympode est constitué de 3 feuilles, d'une inflorescence et des ramifications à l'aisselle des feuilles. Le **Tableau 1** décrit les principaux caractères distinctifs des variétés de tomate (Blancard *et al.*, 2009).

Tableau 1: Principaux caractères distinctifs des variétés de tomate.

Caractères	Description
Type de croissance de la plante	<i>Croissance indéterminée</i> où la plante produit 7 à 10 feuilles et une inflorescence, puis 3 feuilles et une seconde inflorescence et ceci indéfiniment.
	<i>Croissance déterminée</i> où la plante arrête son développement après 2 à 5 inflorescences, les pousses latérales stoppent leur développement après 1 à 3 inflorescences.
Nature du collet des fruits à maturité	<i>Collet vert foncé avant maturité</i> , se colorant plus ou moins comme l'ensemble du fruit par la suite. <i>Collet ne se distinguant pas du reste du fruit</i> qui garde une couleur uniforme.
Forme et calibre des fruits	Plus ou moins gros, aplatis, légèrement aplatis, arrondis, cylindriques, elliptiques, obovales, ovales, côtelés ou lisses, etc.
Couleur des fruits	Crèmes, jaunes, orangés, roses, rouges, bruns, etc.
Résistance aux bioagresseurs et aux maladies non parasitaires	Il s'agit généralement de caractères monogéniques dominants, mentionnés dans les catalogues des semenciers.

Source : Blancard *et al.* (2009).

2.3.3. Variétés de tomate cultivées au Burkina Faso

Le **Tableau 2** fait la synthèse des variétés de tomate les plus cultivées au Burkina Faso. Ses variétés sont en majorité produites par la société "TECHNISEM" (France) (TECHNISEM, 2016). Elles sont commercialisées au Burkina Faso par

“NANKOSEM” (société d'importation et de vente de semences potagères). La majorité de ces variétés importées ne sont pas adaptées aux conditions locales de cultures (sensibilité aux maladies et insectes, inadaptation aux conditions chaudes et humides, etc.) ou inaccessibles du fait de leurs prix élevés face au pouvoir d'achat de la majorité des producteurs.

Tableau 2: Variétés de tomate les plus cultivées au Burkina Faso.

Nom de la variété	Cycle	Période propice de production	Tolérance
JUGAR F1	65 jours	Saison sèche et fraîche	TYLCV ; FOL 0
F1 COBRA 26	65 jours	Toute saison	TYLCV ; Flétrissement bactérien
F1 KIARA	70 jours	Saison sèche et fraîche	TYLCV ; FOL 0 et FOL 1
LINDO F1	65 jours	Saison sèche et fraîche	Flétrissement bactérien ; TMV ; FOL0
MONGAL F1	65 jours	Saison sèche et fraîche	Flétrissement bactérien ; FOL0 et FOL 1 ; TMV ; nématodes à galles
THORGAL F1	65 jours	Saison sèche et fraîche	Flétrissement bactérien ; Fusarium (FOL0) ; TMV
PANTHER 17	70 jours	Saison sèche et fraîche	TYLCV ; Flétrissement bactérien
SAVANA	70-75 jours	Toute saison	TYLCV ; TMV ; FOL0 et FOL 1
BUFFALO	70-75 jours	Saison humide	Flétrissement bactérien
ROSSOL VFN	75-80 jours	Toute saison	Fusarium ; Nématodes à galle
TROPIMECH	70-75 jours	Saison humide	TYLCV
PETOMECH	70-80 jours	Saison sèche et fraîche	FOL0

TYLCV = Tomato yellow leaf curl virus; FOL = Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici; TMV = Tomato mosaic virus.

Source : TECHNISEM (2016).

2.3.4. Exigences pédoclimatiques de la tomate

2.3.4.1. Température

En termes d'exigence climatique, la tomate demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. Cependant, la plante s'est adaptée à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré au climat tropical chaud et humide (Naika *et al.*, 2005). La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24°C et des températures inférieures à 21 °C peuvent provoquer l'avortement des fruits (Naika *et al.*, 2005). La tomate réagit

aux variations de température qui ont lieu pendant son cycle de croissance (**Tableau 3**).

Tableau 3: Températures requises pour les différentes phases de développement de la tomate.

Phase	Température (°C)		
	Minimum	Intervalle optimale	Maximum
Germination des graines	11	16-29	34
Croissance des plantes	18	21-24	32
Mise à fruits	18	20-24	30
Développement de la couleur rouge du fruit	10	20-24	30

Source : Naika *et al.* (2005).

2.3.4.2. Eau et humidité

La tomate a besoin d'une irrigation régulière pour assurer sa croissance et son développement. La période la plus critique est la phase floraison-fructification (Naika *et al.*, 2005; Schiffers, 2011). Une carence en eau pendant cette période, entraîne la chute des bourgeons et des fleurs et provoque le fendillement des fruits. Cependant, des excès d'eau peuvent provoquer des carences en éléments minéraux (magnésium, phosphore, azote) et favoriser le développement des maladies fongiques, des moisissures ou des pourritures importantes des fruits (Naika *et al.*, 2005; Blancard *et al.*, 2009; Schiffers, 2011). Une bonne alimentation en eau tout au long de la croissance de la tomate permet de : (a) réduire l'incidence de la nécrose apicale du fruit; (b) favoriser le développement uniforme des fruits et prévient le fendillement; (c) favoriser la croissance du feuillage et réduit le risque d'insolation pour les fruits; (d) d'améliorer le calibre des fruits et leur nombre (Naika *et al.*, 2005; Schiffers, 2011).

2.3.4.3. Sols

La tomate n'est pas exigeante quant à la nature du sol. Cependant, elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées qui ont une bonne capacité de rétention en eau et une bonne aération, car elle demande un enracinement profond (Naika *et al.*, 2005; Schiffers, 2011). Elle préfère également les sols où le pH varie entre 5,5 et 7,0 et très riche en éléments nutritifs (Naika *et al.*, 2005; Schiffers, 2011).

2.3.4.4. Fertilisation de la tomate

Au Burkina Faso, la tomate a besoin d'une fumure de fond sous forme de matière organique à raison de 30 à 50 T/ha et d'une fumure minérale à raison de 400 kg/ha de NPK (12-22-22 ou 14-23-14) à apporter en deux fractions 2 semaines après repiquage et en début de floraison (Rouamba *et al.*, 2013). Une alimentation azotée adéquate contribue à assurer un feuillage abondant, plus coloré, ainsi qu'un pouvoir d'assimilation accru. Cependant, un excès de fertilisation peut provoquer des

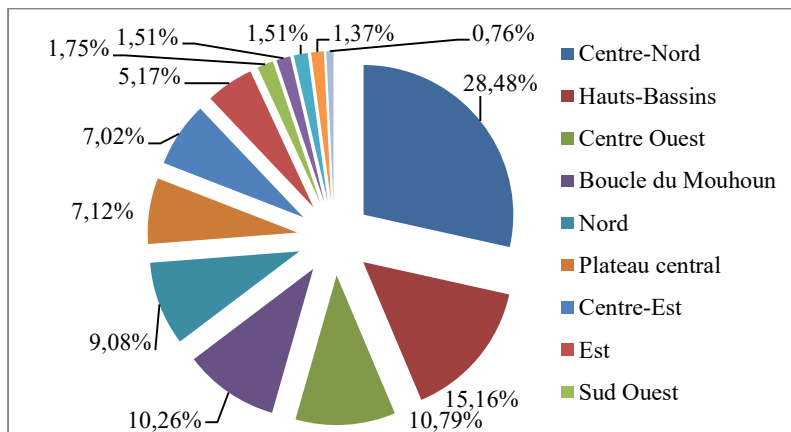
nécroses apicales et la sensibilité des plantes aux ravageurs (mouches blanches, pucerons et acariens) (Naika *et al.*, 2005; Schiffers, 2011).

2.3.5. Production et importance socio-économique de la tomate

2.3.5.1. Production de la tomate dans le monde et au Burkina Faso

La production mondiale de la tomate est passée de 131.295.264 tonnes en 2006 à 170.750.767 tonnes en 2014 faisant de la tomate le premier légume en termes de volume de production devant la pastèque et le chou (FAOSTAT, 2017a). La superficie totale allouée à sa culture était supérieure à 5 millions d'hectares en 2014. Soixante pour cent de la production mondiale est assurée par les cinq plus grands producteurs qui sont la Chine (30,7%), l'Inde (11,1%), les Etats-Unis (7,7%), la Turquie (7,2%) et l'Egypte (5,2%). L'Afrique avec l'Egypte représente seulement 12% de la production mondiale (FAOSTAT, 2017a). Ces chiffres ne tiennent compte que de la production commercialisée, et n'incluent pas les productions familiales qui sont non négligeables dans certaines régions.

Au Burkina Faso, la production de la tomate s'élevait à 289.572 tonnes sur une superficie de 11.766,39 ha durant la campagne 2013-2014 (MARHASA, 2014) contre 200.518,93 tonnes sur une superficie de 23.054,45 ha durant la campagne 2016-2017 (MAAH, 2017b). Ce qui donne une baisse de production de près de 89.000 tonnes. Les cinq régions productrices du pays sont la région du Centre-Nord (82.464 tonnes), la région des Haut-Bassins (43.905 tonnes), la région du Centre-Ouest (31.250 tonnes), la région de la Boucle du Mouhoun (29.723 tonnes) et la région du Nord (26.300 tonnes) (**Figure 3**). Elle est généralement produite pour satisfaire la demande intérieure. Cependant, l'existence des marchés de la sous-région (Ghana, Côte d'Ivoire, Togo), la réhabilitation des chambres froides et la mise en marche du terminal fruitier de Bobo-Dioulasso, ont favorisé le développement de la filière tomate au Burkina Faso (World Bank, 2015).



Source : (MARHASA, 2014).

Figure 3: Principales régions de production de tomates au Burkina Faso (campagne 2013-2014).

L'insuffisance de données disponibles sur les cultures maraîchères auprès du ministère en charge de l'agriculture du Burkina Faso ne permet pas de faire une analyse critique de l'évolution de la production de la tomate dans le pays. Cependant, en analysant les données de la FAOSTAT (2017a), qui sont très différentes de celles du ministère en charge de l'agriculture, on constate une réduction drastique de la production de la tomate au Burkina Faso. Ainsi, selon les données de la FAO (FAOSTAT, 2017a), les superficies emblavées en tomate sont passées de 1.244 ha en 2010 à 1.035 ha en 2014 avec une production estimée à 14.000 tonnes en 2010 contre 10.055 tonnes en 2014 (**Tableau 4**).

Tableau 4: Evolution des superficies, des rendements et de la production de la tomate au Burkina Faso (FAOSTAT, 2017a)

Année	Superficie (ha)	Rendement (T/ha)	Production (T)
2010	1 244	11,25	14 000
2011	1 231	11,37	14 000
2012	1 200	12,5	15 000
2013	1 100	10,45	11 500
2014	1 035	9,72	10 055

2.3.5.2. Importance socio-économique de la filière tomate au Burkina Faso

Au Burkina Faso, la production de la tomate joue un rôle socio-économique très important. Sa production occupe une part importante d'agriculteurs pendant la période sèche et génère des revenus non négligeables pour les producteurs et les distributeurs. La valeur monétaire de la tomate est estimée à 17 millions de FCFA (plus de 25 milles €), soit 21 % du chiffre d'affaires du maraîchage au Burkina Faso (MAHRH, 2007). Le revenu net qu'un producteur tire lorsqu'il exploite 1ha de tomate est de 376.141, 70 FCFA (573,78 €) en zone non aménagée et de 594.356,40 FCFA (906,65 €) en zone aménagée (MAHRH, 2007). Les principaux pays acheteurs de la tomate burkinabè sont le Ghana, la Côte d'Ivoire et le Togo. En 2010, c'est plus de 12 tonnes de tomate burkinabè qui ont été exportées vers le Ghana (principal pays acheteur) avec une valeur monétaire de 0,6 milliard de FCFA (plus de 915 milles €) (INSD, 2011). En Mai 2017, c'est plus de 500 tonnes de tomates fraîches qui ont été exportées vers ce même pays (Ghana) avec une valeur monétaire de plus de 410 millions de FCFA (\approx 630 milles euro) (CILSS, 2017).

2.3.5.3. Importance nutritionnelle de la tomate

Outre sa contribution socio-économique, la tomate contribue à l'équilibre alimentaire de la population burkinabè, même si on note une absence de données de consommation de cette spéculatation au niveau national. La tomate est appréciée pour sa fraîcheur et constitue la base ou la garniture de toutes sortes de plats, qu'elle soit crue ou cuite. C'est l'un des éléments de base de la cuisine et de l'industrie de transformation qui propose des préparations nombreuses et variées : concentré, jus,

tomates pelées, tomates concassées, etc. Elle fait partie des légumes les plus consommés au monde et est riche en vitamines, en particulier A, B et C, en sels minéraux et en fibres, qui sont importants pour la nutrition et la santé humaine (Naika *et al.*, 2005; Blancard *et al.*, 2009) (**Tableau 5**). En outre, les tomates sont les plus riches en lycopène, un phytochimique qui protège les cellules des oxydants liés au cancer humain (Levy *et al.*, 2011). D'autres composés antioxydants dans les fruits de la tomate sont les flavonoïdes et l'acide phénolique potentiellement favorables à la santé car ils sont impliqués dans la prévention des maladies inflammatoires et cardiovasculaires humaines ainsi que du cancer (Tan *et al.*, 2010; Levy *et al.*, 2011). L'OMS (2002) estime qu'une consommation suffisante de tomate réduirait l'incidence des maladies cardiaques de 31%, celle des accidents vasculaires cérébraux de 11% et celle des cancers gastro-intestinaux de 20% à 30%.

Tableau 5: Composition chimique des fruits de la tomate (%).

Eau			95
		Sucre (glucose, fructose)	55
		Acides (citrique, malique)	12
Matières sèches totales	Matières solubles	Sels minéraux	79
		Pigments caroténoïdes*, composés volatils, vitamines**	5
		Matières sèches solubles (cellulose, matières peptiques)	21

* Pigments jaune orange (bêta-carotène = provitamine A) ou rouge (lycopène).

** Vitamines C (18 à 25 mg/100 g de fruits frais), B, K, E.

Source : Blancard *et al.* (2009).

2.3.6. Contraintes liées à la production de la tomate au Burkina Faso

Les contraintes liées à la production de la tomate au Burkina Faso sont sensiblement les mêmes que celles rencontrées par les autres spéculations maraîchères (MAH, 2011). Elles sont d'ordres financier et technique.

2.3.6.1. Difficultés d'accès aux intrants (semences, produits phytosanitaires, engrais)

Contrairement aux producteurs du coton qui bénéficient d'un appui en intrants sous forme de crédits par la société des fibres et textiles (SOFITEX) du Burkina Faso, les producteurs maraîchers sont laissés à eux-mêmes sans un appui financier sous forme de crédit de la part de l'état dans l'acquisition des intrants. Les difficultés que ces producteurs rencontrent sont la non disponibilité et/ou le coût élevé des semences de qualité, des produits phytosanitaires adéquats et des fertilisants adaptés à la production maraîchère. Cette difficulté touche plus de 80% des maraîchers selon le ministère en charge de l'agriculture (MAH, 2011).

2.3.6.2. Difficultés liées à l'accès aux équipements

Au niveau national, 84 % des maraîchers rencontrent des problèmes d'accès aux équipements d'irrigation (motopompes, tuyaux PVC) selon le ministère en charge de l'agriculture (MAH, 2011). Cela s'explique par le coût élevé des équipements, la faible disponibilité et la mauvaise qualité de certains équipements maraîchers.

2.3.6.3. Difficultés d'ordre technique et naturel

Bon nombre des exploitants maraîchers (92,9 %) ont des difficultés liées à la production maraîchère. Sont considérées dans ce contexte comme difficultés liées à la production :

- la pression parasitaire très importante qui touche plus de 50% des maraîchers ;
- la faible maîtrise des techniques culturales, particulièrement celles concernant la préparation des sols, la fertilisation et la lutte contre les principaux bioagresseurs ;
- l'insuffisance et la pauvreté des terres.

2.3.6.4. Difficultés liées à l'irrigation

Les difficultés liées à l'irrigation se résument à l'insuffisance et au tarissement précoce des points d'eau, au manque de canalisations et à l'insuffisance du matériel d'irrigation. Plus de 82 % des exploitants rencontrent au moins une des difficultés suscitées (MAH, 2011).

2.3.6.5. Difficultés liées à l'accès au crédit agricole

Les difficultés liées à l'accès aux crédits agricoles sont de plusieurs ordres. Les principales difficultés sont le manque d'institutions de microfinances (IMF), la complexité des procédures de demande de crédit, le taux d'intérêt élevé, le délai de remboursement court et le problème d'aval. Au niveau national, 80 % des exploitants maraîchers rencontrent au moins une des difficultés précédemment citées (MAH, 2011).

2.3.6.6. Difficultés liées à la commercialisation

Au niveau national, près de 95 % des exploitants maraîchers rencontrent des difficultés de commercialisation. Cela est dû à l'insuffisance des unités de transformation, le bas prix des produits maraîchers qui touche plus de 86 % des producteurs maraîchers, l'éloignement des centres de vente, le mauvais état des routes et la mauvaise qualité des produits due surtout à la pression parasitaire (MAH, 2011).

2.3.6.7. Maladies et ravageurs de la tomate rencontrés au Burkina Faso

Légume incontournable du potager, la tomate est sujette à plusieurs maladies et ravageurs (Messiaen *et al.*, 1991; Claude et Guy, 1994; Blancard *et al.*, 2009; Schiffers, 2011). Les principaux ravageurs et maladies décrits par ces auteurs et sévissant au Burkina Faso sont consignés dans les **Tableaux 6** et **7**.

Tableau 6: Ravageurs d'importance économique de la tomate.

Nom du ravageur	Nature des dégâts	Stade sensible de la plante	Méthode de protection	Références
Mouche blanche (<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius)	<ul style="list-style-type: none"> - Ralentissement de la croissance de la plante due à de nombreuses piqûres et succions alimentaires des aleurodes présents sur le feuillage ; - Production du miellat et de la fumagine ; - Transmission de nombreux virus dont le Virus des feuilles jaunes en cuillère de la tomate (TYLCV). 	Pépinière – stade végétatif des plantes	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser les variétés résistantes ; - Décaler les dates de semis par apport à la période d'activité de l'insecte ; - Protéger la pépinière avec des filets anti-insectes - Eliminer précocement les plantes malades pour éviter les contaminations ; - Eviter les excès d'azote qui favorise sa pullulation ; - Appliquer la lutte intégrée. 	Claude et Guy, 1994; NZI <i>et al.</i> , 2010 ; Schiffers, 2011
La noctuelle de la tomate (<i>Helicoverpa armigera</i> Hubner)	Les feuilles sont rongées, les bouquets floraux sectionnés et les fruits creusés de galeries. Ces derniers tombent s'ils ont été attaqués jeunes ou pourrissent.	Floraison à la récolte	<ul style="list-style-type: none"> - Eviter toute culture simultanée de plantes dont la période attractive pour <i>H. armigera</i> se chevauche afin d'éviter le passage du ravageur d'une culture à une autre ; - Faire des labours profonds afin de détruire les chrysalides dans le sol ; - Inspecter régulièrement le champ depuis la floraison jusqu'à la récolte afin de détecter rapidement les chenilles ; - Appliquer la lutte intégrée. 	Claude et Guy, 1994; Schiffers, 2011
<i>Meloidogyne</i> spp. (nématodes à galles)	Le système racinaire est envahi de galles (jusqu'à 1 cm de diamètre). La 1 ^{ère} alerte est	Pépinière - Nouaison	<ul style="list-style-type: none"> - Désinfecter le sol par solarisation ; - Utiliser les variétés résistantes ; - Faire des rotations avec les plantes 	Claude et Guy, 1994; Blancard <i>et al.</i> , 2009;

	donnée par un dépérissement des parties aériennes (chlorose, flétrissement) et croissance réduite des plantes.		pièges comme l'arachide et le sorgho.	Schiffers, 2011
<i>Aculops lycopersici</i>	Les tiges et la face inférieure des feuilles prennent un aspect brillant et une teinte bronzée. La totalité du végétal se dessèche. Les fruits sont liégeux et craquelés.	Phase développement à la récolte	<ul style="list-style-type: none"> - Privilégier une irrigation par aspersion sur les feuillages, éviter les excès d'azote, appliquer un acaricide spécifique et systémique préventif, - Eliminer les résidus de culture après récolte. 	Schiffers, 2011

Autres ravageurs d'importance économique non encore signalés au Burkina Faso				
<i>Tuta absoluta</i> Meyrick	Sur les feuilles, l'attaque se caractérise par la présence de plages décolorées nettement visibles. Les larves dévorent seulement le parenchyme en laissant l'épiderme de la feuille. Sur les tiges, on peut noter la présence de galeries. Sur les fruits, on note la présence des nécroses sur le calice et des trous de sortie à la surface du tégument.	Floraison à la récolte	<ul style="list-style-type: none"> - Pratique de la solarisation suivie d'une bonne préparation du sol (labour) pour réduire le nombre de chrysalides restées dans le sol ; - Protection des pépinières avec les filets anti-insecte ; - Inspection visuelle des plants en pépinière et pendant le développement des cultures (feuilles, fruits, tiges) ; - Piégeage massif des adultes mâles à l'aide des phéromones sexuelles ; - Rotations de la culture de la tomate avec des cultures non hôtes de <i>Tuta absoluta</i> (ex. : laitues, l'oignon) ; - Désherbage régulier des parcelles en éliminant toutes les mauvaises herbes et les plantes hôtes dans les parcelles et aux abords ; - Elimination régulière et destruction des déchets végétaux et des fruits infestés. - Pratiquer la lutte intégrée. 	Wyckhuys <i>et al.</i> 2013 ; Pfeiffer <i>et al.</i> 2013; Brévault <i>et al.</i> 2014
<i>Utetheisa pulchella</i> L	Particulièrement nuisible aux crotalaria, <i>U. pulchella</i> attaque aussi le niébé, la tomate et l'aubergine en perforant les fruits.	Floraison à la récolte	<ul style="list-style-type: none"> - Faire des labours profonds afin de détruire les chrysalides dans le sol ; - Inspecter régulièrement le champ depuis la floraison jusqu'à la récolte afin de détecter rapidement les chenilles ; - Appliquer la lutte intégrée. 	Appert et Deuse, 1982 ; Djiba, 1986

Tableau 7: Maladies parasitaires et désordres physiologiques d'importance économique de la tomate au Burkina Faso.

Nom de la maladie et agent causal	Symptômes et dégâts	Stade sensible de la plante au Burkina Faso	Méthode de protection	Références
Maladies cryptogamiques				
Fusariose (<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>)	En pépinière, les plantules affectées voient leur croissance réduite. Les jeunes plants peuvent flétrir totalement et mourir. Au niveau des plantes adultes, les flétrissements plus ou moins importants apparaissent sur les folioles et les feuilles du sommet de la tige qui est par ailleurs fortement amincie dans cette zone. Ils peuvent aussi évoluer très rapidement vers la nécrose et le dessèchement des feuilles et conduire à la mort des plantes. Un chancre brun sombre évolue souvent longitudinalement sur une face de la tige, en prenant la forme d'une flamme pouvant s'étendre jusqu'à plus de 30 cm au-dessus du collet. La partie centrale du chancre prend une teinte rose à saumon et un aspect plutôt muqueux. Des racines adventives se développent parfois sur la tige. Les fruits des plantes malades sont souvent peu turgescents et ternes.	Tous les stades de la plante	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser les variétés résistantes, employer des substrats sains et faire la rotation avec les cultures non sensibles telle que la laitue. - En cours et en fin de culture, il convient d'éliminer le maximum de plantes malades et les résidus de culture. 	Messiaen <i>et al.</i> , 1991; Claude et Guy, 1994; Blancard <i>et al.</i> , 2009; Schiffers, 2011
Alternariose (<i>Alternaria dauci</i> f. sp. <i>solani</i>)	Taches brunes de taille variables constituées d'anneaux concentriques, chlorotiques à leur périphérie sur les folioles, sur les tiges, sur les sépales et sur les fruits.	Tous les stades de la plante	Utiliser les variétés résistantes, rotation culturale et traitement chimique	Messiaen <i>et al.</i> , 1991; Blancard <i>et al.</i> , 2009

Nom de la maladie et agent causal	Symptômes et dégâts	Stade sensible de la plante au Burkina Faso	Méthode de protection	Références
Maladie bactérienne				
Flétrissement bactérien (<i>Ralstonia solanacearum</i> Smith)	Flétrissement rapide des jeunes feuilles aux moments les plus chauds de la journée. Les tissus affectés se nécrosent, se dessèchent et de nombreuses plantes finissent par mourir. Une coupe longitudinale dans les racines, le pivot et la tige montre une coloration jaunâtre à brune plus ou moins foncée des vaisseaux. Le « test du verre d'eau » de <i>R. solanacearum</i> permet de voir rapidement l'apparition des volutes blanches constituées de milliards de cellules bactériennes.	Tous les stades de la plante	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser les pépinières dans des parcelles saines et éliminer les plantes malades. - Utiliser les variétés résistantes. 	Messiaen <i>et al.</i> , 1991; Claude et Guy, 1994; Blancard <i>et al.</i> , 2009
Maladie virale				
Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)	Nombreuses folioles de taille réduite conférant à la plante un aspect chétif ou de buisson. En cas d'infection précoce, les plantes sont naines et ne produisent plus de fruits.	Tous les stades de la plante	<ul style="list-style-type: none"> - Protéger les jeunes plants en pépinière des aleurodes en utilisant des filets anti-insectes et en appliquant la lutte intégrée en pépinière et en plantation; - Utiliser les variétés résistantes. 	Messiaen <i>et al.</i> , 1991; Claude et Guy, 1994; Blancard <i>et al.</i> , 2009; Schiffers, 2011.
Désordres physiologiques				
Nécrose apicale	Développement à l'extrémité des fruits, au niveau ou à proximité de l'attache pistillaire de	Nouaison à la récolte	-Assurer une fertilisation équilibrée (éviter les excès	Messiaen <i>et al.</i> , 1991; Blancard

Nom de la maladie et agent causal	Symptômes et dégâts	Stade sensible de la plante au Burkina Faso	Méthode de protection	Références
	<p>petites lésions humides, assez diffuses dans un premier temps, brunissant et s'étendant progressivement par la suite. À terme, une large altération brunâtre à noire, plus ou moins concave et bien délimitée, de consistance plutôt sèche, déprécie l'extrémité apicale d'un ou plusieurs fruits.</p>		<p>d'azote) et des apports en calcium optimaux, - Cultiver des variétés peu sensibles. - Réaliser des effeuillages réguliers afin de maintenir un bon équilibre avec la charge en fruit. - Pailler le sol afin d'y maintenir une humidité plus constante. - Éviter de mutiler les racines au cours des opérations d'entretien du sol. - Assurer un apport d'eau régulier.</p>	<p><i>et al.</i>, 2009</p>
<p>Coups de soleil</p>	<p>Sur fruits verts ou tournants, les brûlures solaires se traduisent par des taches apparaissant parfois sur la face la plus exposée au rayonnement direct du soleil. Ces lésions sont irrégulières, blanchâtres en leur centre, et plus ou moins entourées d'un halo jaune. Elles sont légèrement déprimées, et leur surface est plus ou moins ridée et prend une texture sèche rappelant celle du papier.</p>	<p>Nouaison à la récolte</p>	<p>Couvrir les fruits exposés au soleil avec de la paille.</p>	<p>Claude et Guy, 1994; Blancard <i>et al.</i>, 2009; Schiffers, 2011.</p>

2.3.7. Méthodes de lutte contre les bioagresseurs de la tomate au Burkina Faso

Au Burkina Faso, diverses méthodes de luttés sont utilisées pour le contrôle des bioagresseurs des cultures maraîchères. Parmi ces méthodes, on peut citer entre autres :

- L'utilisation des extraits de plantes où diverses espèces sont utilisées comme extraits (aqueux, huileux, huiles essentielles) ou en association avec d'autres cultures pour le contrôle des bioagresseurs. Les plantes les plus utilisées sont : *Azadirachta indica* A Juss contre *Bemisia tabaci* et *Helicoverpa armigera* (Diabaté *et al.*, 2014), contre les nématodes à galles (Afouda *et al.*, 2012) ; *Ocimum gratissimum* L. contre *Fusarium oxysporum* Schlechtendal (Doumbouya *et al.*, 2012) et contre *Tetranychus urticae* Koch (Ogayo *et al.*, 2015) ; *Jatropha curcas* L contre *Bemisia tabaci* et *Helicoverpa armigera* (Diabaté *et al.*, 2014) ; *Carica papaya* L. contre *Bemisia tabaci* (Asare-Bediako *et al.*, 2014) ;
- L'utilisation des biopesticides tel que le PiOL contre les pucerons, les chenilles défoliatrices et la noctuelle de la tomate, Limosain contre les pucerons, les mouches blanches, les thrips et les mouches des fruits, le H-N contre les pucerons, les Chenilles défoliatrices, les noctuelles de la tomate, les thrips et les mouches mineuses (Bioprotect, 2011) ;
- L'utilisation des méthodes physiques et mécaniques marquées par l'incinération des résidus de cultures abritant les bioagresseurs ; les labours permettant de tuer à la fois certains bioagresseurs présentes sur le végétal par enfouissement et de ramener à la surface les larves et les chrysalides de certains bioagresseurs, où elles meurent sous le coup de soleil ou sont dévorées par les prédateurs ; les submersions de quelques jours des zones de cultures permettant de noyer et d'asphyxier les larves et les nymphes de certains bioagresseurs demeurées dans les résidus de culture après la récolte ;
- L'utilisation des variétés tolérantes à certains bioagresseurs (voir **Tableau 2**) ;
- La lutte chimique est la méthode la plus utilisée au Burkina Faso, alors que plusieurs études ont mis en exergue le non-respect des bonnes pratiques phytosanitaires des maraîchers (Oyono Ele, 2008; Congo, 2013; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2016a; Lehmann *et al.*, 2017). Ce qui engendre des effets néfastes sur la santé des applicateurs et des risques d'intoxication des consommateurs et la pollution de l'environnement, ainsi que le développement de la résistance chez les ravageurs. C'est la raison pour laquelle il est recommandé d'appliquer la lutte intégrée en utilisant des variétés résistantes / tolérantes, en appliquant les pratiques culturales appropriées et les bonnes pratiques phytosanitaires (en mettant l'accent sur les pesticides biologiques).

Chapitre 3

Production et gestion des pesticides au Burkina Faso

3.1. Production, importation et utilisation des pesticides au Burkina Faso

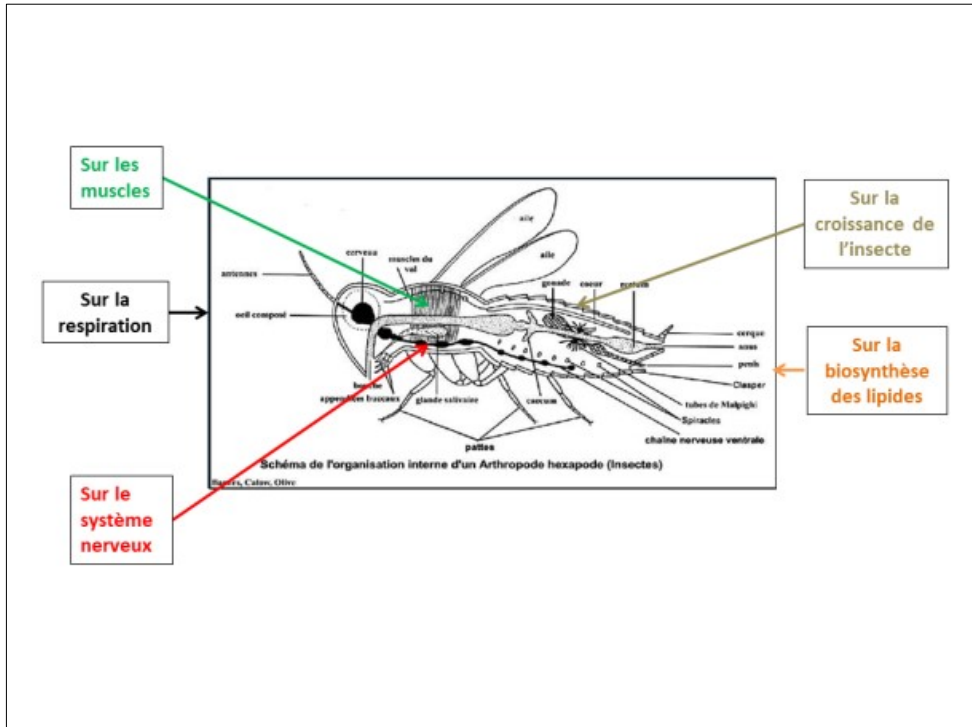
3.1.1. Définition d'un pesticide

FAO (2003) définit les pesticides comme : « toute substance ou association de substances qui est destinée à repousser, détruire ou combattre les ravageurs, y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales, les espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages ou se montrant autrement nuisibles durant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation des denrées alimentaires, des produits agricoles, du bois et des produits ligneux, des aliments pour animaux, ou qui peut être administrée aux animaux pour combattre les insectes, les arachnides et autres endo ou ectoparasites ».

Le terme pesticide désigne les produits phytosanitaires destinés à protéger les végétaux contre tous les organismes nuisibles et les biocides qui sont des produits destinés à la protection des animaux domestiques et des hommes ou des éléments de construction (charpente) (OMS, 1991). Selon toujours cette organisation, les pesticides sont classés selon les cibles auxquelles ils sont destinés : les herbicides pour lutter contre les mauvaises herbes ; les fongicides pour détruire les champignons ; les insecticides pour tuer les insectes, les acaricides contre les acariens, etc. Ils peuvent également être regroupés en fonction de leurs composants actifs dont les plus importants sont les pyréthriinoïdes (lambdacyhalothrine, deltaméthrine...), les organophosphorés (profénofos, chlorpyrifos...), les carbamates (mancozèbe, indoxacarbe...) et les organochlorés (DDT, endosulfan...) (OMS, 1991).

3.1.2. Modes d'action des pesticides

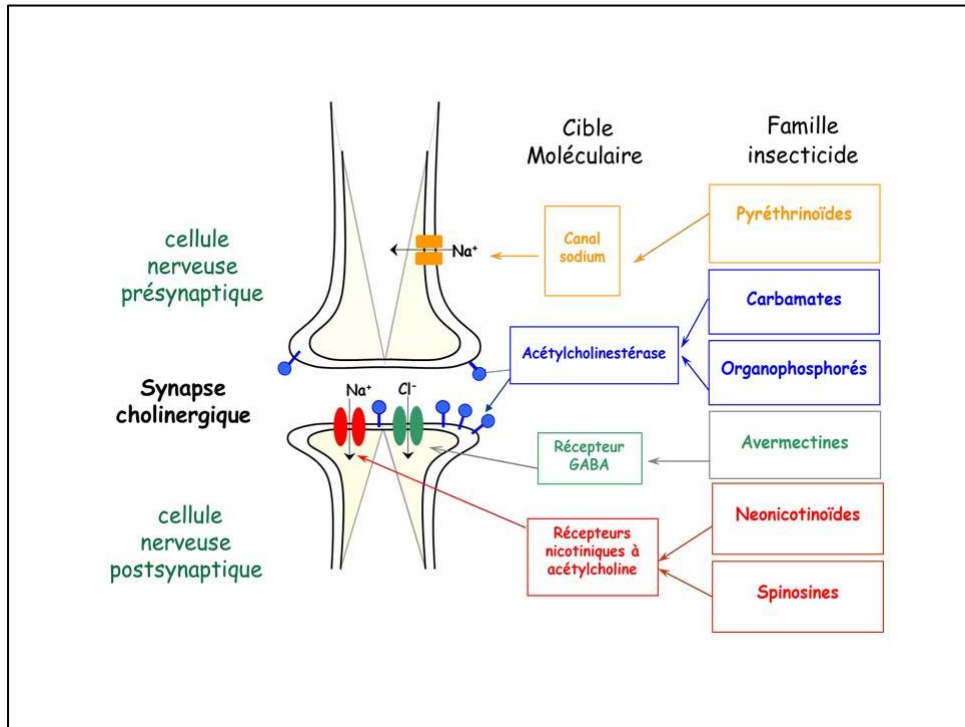
Les pesticides utilisés contre les ravageurs des cultures, peuvent avoir plusieurs sites d'action sur l'insecte (**Figure 4**).



Source : Siegwart (2017)

Figure 4 : Sites d'action des insecticides sur l'insecte

On parle de mode d'action (Mda) lorsque qu'interviennent, des changements fonctionnels ou anatomiques au niveau cellulaire d'un organisme vivant, suite à une exposition d'une substance toxique (CSAN, 2017; IRAC, 2017). Le Mda est important dans la classification des substances chimiques, vu qu'il représente un niveau intermédiaire entre le mécanisme moléculaire et les effets physiologiques. Aussi, il permet de gérer la résistance des insectes aux insecticides, car malgré qu'elles appartiennent à des familles différentes, certaines substances actives possèdent le même Mda et de ce fait, agissent de la même façon sur la cible. Ainsi en cas d'utilisation successive de substances actives appartenant au même groupe, les interactions entre la substance active utilisée et le site cible sont délabrées et les deux substances utilisées et par extension toutes les substances actives appartenant aux deux familles perdent leur activité et leur efficacité (CSAN, 2017; IRAC, 2017). Ceci a comme conséquence l'apparition de la résistance croisée qui peut ne pas être due à l'utilisation répétée d'une substance active (CSAN, 2017; IRAC, 2017). Par exemple, les insecticides appartenant aux organophosphorés et aux carbamates, malgré qu'ils soient de familles différentes, agissent tous sur les l'acétylcholinestérase comme l'indique la **Figure 5**.



Source : Siegwart (2017)

Figure 5 : Cibles des insecticides neurotoxiques

Afin d'éviter d'employer successivement sur la même parcelle des substances appartenant à la même famille chimique et de faciliter l'alternance des produits utilisés lors des traitements, de façon à limiter le risque d'apparition de résistances chez les insectes ciblés, Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) a publié une classification des substances actives en 28 groupes en fonction de leur mode d'action (CSAN, 2017; IRAC, 2017). La classification des insecticides et acaricides couramment utilisés au Burkina Faso selon le MdA de l'IRAC est consignée dans le **Tableau 8** afin d'aider à mieux concevoir des stratégies efficaces et durables contre les nuisibles en production maraîchère au Burkina Faso.

Tableau 8 : Classification de l'IRAC selon le mode d'action des insecticides et des acaricides

Site d'action cibles	Famille chimique ou exemplification de la substance active	Exemple de substances actives
Inhibiteurs d'acétylcholinestérase (AChE) Système nerveux	Carbamates	Méthomyl
	Organophosphorés	Chlorpyrifos-éthyl, Profenofos
Bloqueur des canaux chlorures GABA-gated Système nerveux	Organochloré	Endosulfan*
	Pyréthroïdes	Lambda-Cyhalothrine, Cyperméthrine, Cyfluthrine, Deltaméthrine
Modulateurs des compétiteurs des récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine (nAChR) Système nerveux	Néonicotinoïdes	Acetamipride, Imidaclopride
Modulateurs allostériques des canaux chlorures glutamate-gated (GluCl) Système nerveux et muscle	Avermectines	Abamectine, Emamectine benzoate
Destructeurs microbiens de la membrane de l'intestin moyen de l'insecte	<i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. kurstaki <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. aizawai <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. Tenebrionis <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. israelensis
Bloqueurs des canaux sodiques voltage-dépendant Système nerveux	Oxadiazines	Indoxacarbe

*Cette substance est interdite d'utilisation au Burkina Faso

3.1.3. Production des pesticides au Burkina Faso

Le Burkina Faso ne dispose pas d'industrie de production phytosanitaire. C'est une industrie de formulation et de conditionnement ; les matières premières étant importées depuis l'Europe ou les Etats-Unis, et dans une moindre mesure, depuis l'Inde ou l'Afrique du Sud (IFDC, 2004). La seule unité de formulation et de conditionnement est la SAPHYTO localisée dans la zone industrielle de Bobo-Dioulasso et dont la fonction originelle était de fournir les insecticides destinés à la protection du cotonnier (IFDC, 2004; Ouédraogo *et al.*, 2011).

3.1.4. Importation et distribution des produits phytosanitaires au Burkina Faso

Les importations de substances actives et de produits prêts à l'emploi sont effectuées par diverses sociétés au Burkina Faso dont les plus importantes sont la SAPHYTO, le PROPHYMA et la LDC. Les pays d'importation sont le Sénégal, la Côte d'Ivoire, le Nigeria, le Mali, le Ghana, l'Afrique du Sud, la Tunisie, le Japon, l'Indonésie, la Chine, la Thaïlande, l'Europe et les États-Unis (Ouédraogo *et al.*, 2011; MESRSI, 2016). L'importation des pesticides entre 2010 et 2016 au Burkina Faso a connu une hausse de 1.310% pour les pesticides liquides (**Figures 6a**) et 45% pour les pesticides solides (**Figures 6b**) (DPVC, 2016). Les insecticides pour la protection du cotonnier dominent le marché, suivis par les herbicides pour le maïs et le coton (IFDC, 2004; MESRSI, 2016).

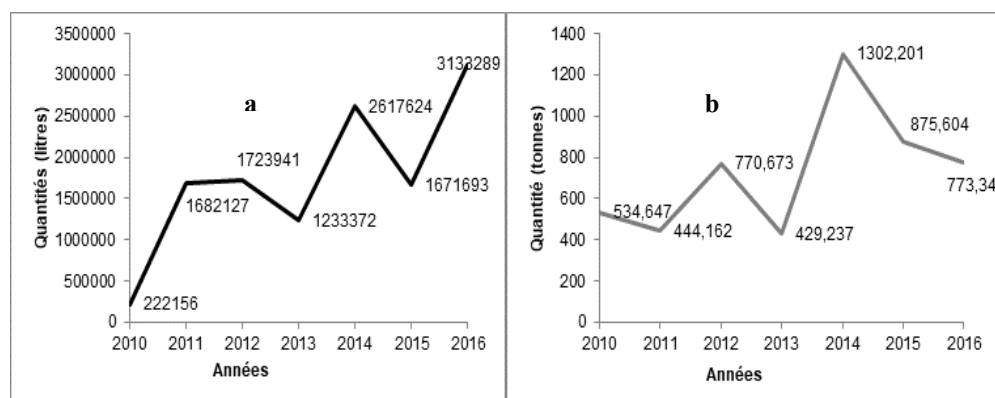


Figure 6: Evolution des quantités de pesticides liquides (a) et solides (b) importés au Burkina Faso.

La valeur monétaire d'importation a également connu une hausse de 114% entre 2010 et 2014 (**Tableau 9**) (FAOSTAT, 2017b).

Tableau 9: Valeur d'importation des pesticides au Burkina Faso (FAOSTAT, 2017b).

Année	Valeur (\$ US)	Valeur (FCFA)	Valeur (€)
2015	15 628 996	8 928 689 125	13 619 941,90
2014	24 602 090	14 054 927 996,10	20 665 755,60
2013	19 805 140	11 314 478 430,60	16 636 317,60
2011	18 272 120	10 438 679 434,80	15 348 580,80
2010	11 513 410	6 577 495 998,90	9 671 264,40

Quant aux distributeurs agréés de pesticides, c'est-à-dire ceux qui ont leur agrément de vente, leur nombre est passé de 15 en 2013 à 93 en 2016, soit une hausse de 520% (**Figure 7**) (CNCP, 2016). Ces chiffres ne tiennent pas compte des distributeurs non recensés par le ministère en charge de l'agriculture et qui sont les plus nombreux. Ainsi, sur 353 distributeurs de pesticides enquêtés dans la zone Ouest du Burkina Faso, 97% ne détiennent aucun agrément de vente délivré par le Comité national de gestion des pesticides (MESRSI, 2016). Quatre vingt-cinq pour cent (85%) des distributeurs ne connaissent pas le Comité Sahélien des Pesticides (CSP), structure chargée de l'homologation des pesticides dans les pays du sahel et par conséquent, seulement 10% possèdent la liste des pesticides autorisés par le CSP (MESRSI, 2016).

Les produits vendus sont étalés sur les étals ou au sol et parfois exposés à des températures élevées et sans qu'aucun équipement de protection ni aucune précaution de stockage appropriée ne soient prises (Toé, 2010; MESRSI, 2016).

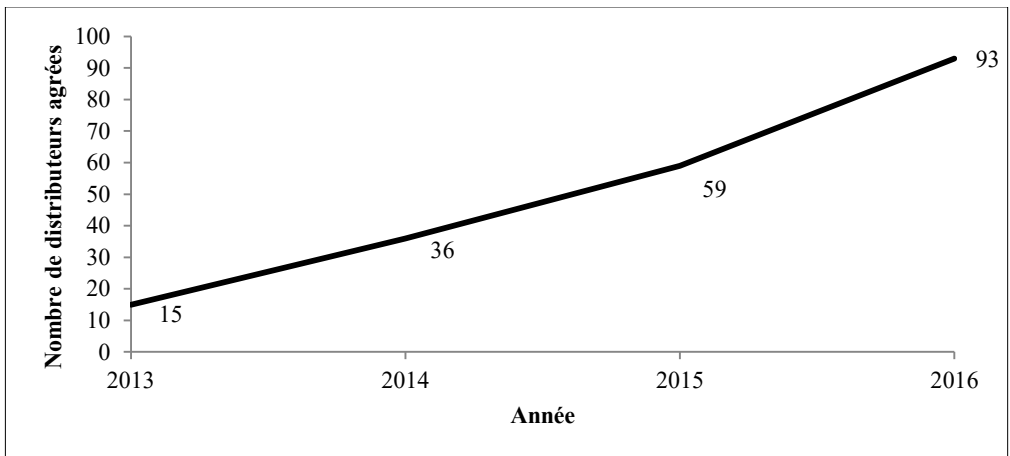


Figure 7: Evolution du nombre de distributeurs agréés de pesticides au Burkina Faso.

3.1.5. Utilisation des pesticides en production agricole au Burkina Faso

Le taux de croissance de l'utilisation des pesticides au Burkina Faso par an atteint 11% (Toé, 2010). Environ 185 spécialités commerciales sont en circulation au Burkina Faso, dont 75% sont des substances actives ayant une activité insecticide, acaricide ou nématicide (MEF, 2011). Les organophosphorés et les pyrèthrinoides de synthèse constituent environ 65% des substances actives des différentes spécialités en circulation au Burkina Faso (Toé, 2010). Les substances actives les plus utilisées sont la lambdacyhalothrine, la cyperméthrine, le profénofos et le chlorpyrifos-éthyl (Toé, 2010).

3.1.5.1. Domaines d'utilisation

Au Burkina Faso, les pesticides sont utilisés dans plusieurs domaines agricoles pour protéger les cultures contre les ravageurs et les maladies. Ces pesticides sont utilisés en grande majorité dans la production cotonnière (90%), la canne à sucre et dans la production céréalière (maïs et riz) et maraîchère (Ouédraogo *et al.*, 2011). Les herbicides sont plus utilisés dans la production cotonnière, céréalière et au niveau de la canne à sucre (Ouédraogo *et al.*, 2011). Quant aux insecticides et fongicides, ils sont utilisés pour protéger les cultures contre les maladies et les ravageurs pendant la production et après les récoltes pendant le stockage (Ouédraogo *et al.*, 2011).

3.1.5.1.1. Circuit d'approvisionnement des producteurs en produits phytosanitaires

Quatre circuits d'approvisionnement des producteurs en pesticides sont effectués au Burkina Faso. Un premier circuit formel dans lequel les producteurs s'approvisionnent auprès des distributeurs agréés, mais faiblement suivi par la majorité. Les trois autres circuits sont les marchés locaux (90 %), les marchés extérieurs des pays frontaliers (Ghana, Togo, Bénin, Côte d'Ivoire et Mali) et de producteur à producteur, surtout en ce qui concerne les pesticides réservés au cotonnier et utilisés en production maraichère (IFDC, 2007; Toé, 2010; Ouédraogo *et al.*, 2011).

3.1.5.1.2. Caractéristiques sociodémographiques des utilisateurs de pesticides et équipements

Plus de 95% des utilisateurs de pesticides au Burkina Faso sont de sexe masculin et majoritairement jeunes. Quarante pour cent de ces utilisateurs sont analphabètes et moins de 10% ont reçu de formations sur l'utilisation des pesticides (IFDC, 2007; Kêdowidé *et al.*, 2010; Toé, 2010; Ouédraogo *et al.*, 2011; Congo, 2013; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2016a; MESRSI, 2016). En production maraîchère, l'application des pesticides est faite à l'aide des pulvérisateurs à dos, par des branchages ou à l'aide de paille sous forme de balais (Congo, 2013; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2016a; Tarnagda *et al.*, 2017) (**Figure 8**).



Source : Zerbo, 2017

Source : Lehmann *et al.*, 2016a

Figure 8 : Equipement d'application des pesticides en production agricole au Burkina Faso.

L'application des pesticides nécessite une protection adéquate de l'utilisateur afin d'éviter tout risque d'exposition. Cependant au Burkina Faso, plus de 90% des producteurs n'utilisent aucun équipement de protection individuelle (EPI) de protection adéquate recommandé dans l'utilisation des produits phytosanitaires (gants, masques, lunettes, bottes, combinaisons) (Congo, 2013; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2016a; Tarnagda *et al.*, 2017). Les EPI se limitent au port de tenues ordinaires (**Figure 9**) qui sont parfois hors usages.



Source : Zerbo, 2017

Source : Zerbo, 2017

Source : Tarnagda *et al.*, 2017

Figure 9 : Equipements de protection individuelle (EPI) portés par les producteurs.

3.1.5.2. Traitements phytosanitaires et gestion des emballages vides de pesticides

Au Burkina Faso, plusieurs études et travaux ont mis en exergue le non-respect des Bonnes Pratiques Phytosanitaires (BPP). On note l'emploi de produits normalement destinés à la protection du cotonnier et de produits frauduleux prohibés sur les cultures maraîchères, un non-respect des doses prescrites et du calendrier de traitement, un non-respect des règles d'hygiène conseillées lors des traitements et une élimination inadéquate des restes de produits et des emballages vides (**Figure 10**) (Congo, 2013; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2016a; Tarnagda *et al.*, 2017).



Source : D. Son

Figure 10 : Emballages vides laissés au champ (A) et à proximité de point d'eau (B).

3.1.6. Facteurs favorisant l'utilisation des pesticides en production maraîchère au Burkina Faso

Quatre types de facteurs conduisent à une utilisation excessive des pesticides en production maraîchère au Burkina Faso :

- *Les facteurs économiques* qui se caractérisent par un accroissement des surfaces exploitées en maraîchage. Cela se traduit par une contribution croissante du secteur au PIB du Burkina Faso, accompagnée d'une utilisation croissante de pesticides en cultures horticoles. Cette demande croissante de produits a généré aussi une hausse du nombre de distributeurs de pesticides, lesquels constituent autant de relais qui poussent à la consommation de ces produits.
- *Les facteurs socioculturels* marqués par un fort taux d'analphabétisme des maraîchers, car plus de 70% des maraîchers ne savent ni lire, ni écrire (Congo, 2013; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2016a; Tarnagda *et al.*, 2017). Cette situation additionnée à un faible niveau de formation, occasionne une méconnaissance des principaux bioagresseurs par les producteurs et engendre une utilisation intensive des produits phytosanitaires, parfois inadaptés.
- *Les facteurs institutionnels* sont marqués par la fragilité des institutions chargées de la gestion des produits phytosanitaires au Burkina Faso : insuffisance de contrôle à l'importation, à la vente et à l'utilisation aussi bien à l'intérieur qu'aux frontières du pays, insuffisance, voire absence de poursuites et de sanctions administratives ou judiciaires lors d'infractions, difficulté de retrait des pesticides non autorisés présents sur le marché. Plus de 90% des pesticides utilisés par les producteurs sont achetés, sans garantie de qualité, sur les marchés locaux. Enfin, l'insuffisance (voire l'absence) de sensibilisation, d'information et de formation des maraîchers sur les bonnes pratiques d'utilisation des pesticides ainsi que sur les méthodes alternatives de contrôle des bioagresseurs favorisent une utilisation inadaptée des pesticides. Moins de 10% des maraîchers du Burkina Faso ont reçu une formation à l'utilisation des pesticides (IFDC, 2007; Toé, 2010; Congo, 2013; Ohui, 2014; MEF, 2015; Tarnagda *et al.*, 2017).
- *Les facteurs environnementaux* se caractérisent par la pullulation des bioagresseurs liée en partie aux effets des changements climatiques et aux échanges commerciaux de végétaux (Pfeiffer *et al.*, 2013). Selon certains auteurs (Legrève et Duveiller, 2010; Brodeur *et al.*, 2013; Moiroux *et al.*, 2014; Boileau, 2015), l'augmentation des températures réduit le temps de latence des générations de bioagresseurs et favorisent une augmentation du nombre de cycles par saison. Au Burkina Faso, une hausse de 0,8°C est prévue en 2025, et de 1,7°C en 2050 (MECV, 2007).

L'ensemble de ces facteurs constituent de puissantes « forces motrices » qui concourent à une utilisation non seulement intensive, mais inappropriée des pesticides en maraîchage. Celle-ci va alors exercer une forte pression sur la santé humaine et sur l'environnement.

3.2. Risques liés à l'usage des produits phytosanitaires

3.2.1. Notions de « danger » et de « risque »

Le « danger » correspond à tout facteur biologique (micro-organismes, toxines, OGM...), chimique (résidus, nitrates, additif, conservateur,...) ou physique (corps étranger, insecte, cheveux, éclats d'os,...) qui peut/pourrait, dans certaines circonstances, entraîner un effet indésirable sur la santé ou l'environnement. Par contre, le risque est la probabilité d'être dans une situation où les dommages pour la santé ou pour l'environnement peuvent apparaître (Pingault *et al.*, 2009; Schiffers et Samb, 2011). Dans le cas des pesticides, le risque résulte de la combinaison de l'exposition à un pesticide (contact d'un organisme avec une substance active) et le danger (c'est-à-dire de la capacité de nuisance) que peut représenter cette substance active vis-à-vis de cet organisme. Le risque est fonction de la probabilité d'exposition, car l'utilisation d'un produit très dangereux peut être sans risque si l'exposition à celui-ci est nulle. A l'opposé un produit présentant peu de danger, peut s'avérer très risqué si l'exposition est très importante (aiguë ou chronique) (Schiffers et Samb, 2011; Boissonnot, 2014).

3.2.2. Toxicité des produits phytosanitaires

3.2.2.1. Notion de toxicité d'un produit phytosanitaire

La toxicité d'un produit phytosanitaire est sa capacité à donner, plus ou moins rapidement, une incapacité plus ou moins poussée, une maladie ou la mort. Cette définition tient compte de toutes les formes d'intoxication (suraiguë, aiguë, chronique, subaiguë, subchronique...), de toutes les voies de pénétration (digestive, respiratoire, cutanée, oculaire), de toutes les substances et de tous les modes d'intoxication (FAO, 2003; Amiard, 2017).

3.2.2.2. Type de toxicité et forme d'intoxication

On distingue plusieurs types de toxicité et de forme d'intoxication en fonction de la rapidité d'apparition des symptômes, de leur sévérité, de leur durée ou de la rapidité d'absorption de la substance toxique (Amiard, 2017).

La toxicité aiguë correspond à une administration unique du toxique ;

- La toxicité subaiguë qui est une toxicité réitérée pendant au maximum 28 jours ;
- La toxicité subchronique qui est une toxicité réitérée pendant plus de 28 jours et moins de 90 jours ;
- La toxicité chronique qui est une toxicité réitérée pendant plus de 90 jours.

Parmi les formes d'intoxication, on a :

- L'intoxication suraiguë correspondant à une exposition de très courte durée où l'absorption est toujours très rapide, la dose toujours unique et la mort survient rapidement ;

- Lors d'une intoxication aiguë, l'apparition de la toxicité est de courte durée, l'absorption du toxique est rapide, les manifestations d'intoxication sont rapides (vertige, allergies cutanées), la mort ou la guérison sont rapides ;
- L'intoxication subaiguë correspond à des expositions fréquentes et répétées sur une période de plusieurs jours ou semaines pour que les symptômes d'intoxication (céphalées, vomissement, fatigue, etc.) apparaissent ;
- Dans le cas d'une intoxication chronique, les expositions sont répétées sur une longue période (plusieurs années) et la manifestation de l'intoxication dépend soit du poison qui s'accumule, soit des effets engendrés qui s'additionnent. Ce type d'intoxication provoque souvent le cancer, les effets neurologiques, dermatologiques et la perturbation du système endocrinien.

3.2.2.3. Voies d'exposition aux pesticides

Les substances actives pénètrent dans l'organisme selon plusieurs voies (Samuel et St-Laurent, 2001; Burns *et al.*, 2007; Lebailly *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2011; Amiard, 2017) :

- La voie digestive résultant d'une ingestion volontaire ou accidentelle. Le toxique arrive au niveau de l'estomac, puis de l'intestin ;
- La voie respiratoire est concernée par l'inspiration des gaz, des vapeurs de liquides volatils et des aérosols. L'action toxique est directe sur la muqueuse respiratoire (pour les irritants) ou dite systémique (générale) lorsque le produit traverse la paroi pulmonaire pour se fixer sur les hématies ou se dissoudre dans le sang ;
- La voie cutanée qui est la principale voie d'exposition des producteurs aux pesticides en milieu agricole, est impliquée dans le cas d'un contact direct avec la substance toxique soit par projection, soit le sujet est dans une atmosphère contenant des vapeurs toxiques. L'action sera directe avec destruction de la peau ou systémique si le produit traverse la barrière cutanée. Cette voie regroupe la voie pilosébacée (les poils), la voie des pores (surtout au niveau des mains et des pieds) et la voie épidermique qui est de loin la plus importante ;
- La voie oculaire résulte de projections du produit dans les yeux. La brûlure oculaire peut entraîner une atteinte des annexes, mais aussi la destruction de l'œil et un risque de cécité.

La voie de contamination dépend toutefois des caractéristiques du produit utilisé, du comportement humain (utilisation des pesticides sans protection adéquate) et de l'environnement (période d'application des pesticides).

3.2.2.4. Facteurs influençant la toxicité des pesticides

L'exposition humaine aux pesticides peut se produire lors d'une utilisation par les agriculteurs ou par les travailleurs dans les zones traitées et plusieurs facteurs peuvent modifier cette exposition (Fenske et Day, 2005).

3.2.2.4.1. Paramètres liés à la toxicité intrinsèque des pesticides

Les produits peuvent être sous forme de poudres, de granulés ou de liquides et selon les études, les produits sous forme de poudre sont plus exposants (Glass et

Machera, 2009). Cependant, les formulations liquides pénètrent plus rapidement dans la peau, surtout par les mains (Berenstein *et al.*, 2014).

3.2.2.4.2. Paramètres liés à la tâche réalisée

La plupart des auteurs estiment que les phases de préparation et de pulvérisation sont les plus importantes concernant l'exposition des opérateurs aux pesticides et que 90% de l'exposition a lieu durant l'opération de dosage, car le produit manipulé est à l'état concentré (Burns *et al.*, 2007; Lebailly *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2011). Pour Baldi *et al.* (2006), la pulvérisation est responsable de 50 % de l'exposition journalière totale. Cette forte exposition serait due à l'absence ou à un mauvais usage des EPI et à des débordements de la cuve.

La phase de nettoyage n'est pas également négligeable dans l'exposition aux pesticides, car elle compterait pour 20 % de l'exposition totale (Baldi *et al.*, 2012).

3.2.2.4.3. Paramètres liés au matériel de pulvérisation

Le type de matériel de pulvérisation influence également l'exposition des producteurs aux pesticides. Les pulvérisateurs manuels impliquent une exposition plus importante de l'opérateur que les pulvérisateurs motorisés du fait de la proximité des buses sur les systèmes portés (Nuyttens *et al.*, 2009). Aussi, les buses produisant généralement des gouttelettes fines, exposent plus l'opérateur aux pesticides par rapport à celle produisant de grosses gouttelettes (El-Aissaoui, 2015). Enfin, plus la pression de pulvérisation est élevée, plus l'opérateur est exposé et plus la cuve est grande, moins l'opérateur est exposé (Machado-Neto, 2001; Lebailly *et al.*, 2009). Cela semble dû au fait que les grandes cuves réduisent la nécessité de refaire des préparations supplémentaires pour traiter l'ensemble de la parcelle, réduisant ainsi les tâches et le temps de contact avec les produits concentrés (Boissonnot, 2014).

3.2.2.4.4. Paramètres liés aux Equipements de Protection Individuelle (EPI)

Pour limiter l'exposition des agriculteurs aux pesticides, l'usage des EPI est recommandé en fonction du type de produits phytopharmaceutiques utilisés et des différentes étapes du traitement (préparation, application, nettoyage). Un jeu complet d'EPI est composé d'une combinaison de type 5/6, de bottes, d'un masque intégral ou d'un demi-masque de type A2P3 et d'une paire de gants en nitrile (Boissonnot, 2014). Les mains sont les plus soumises à la contamination par les pesticides d'où l'importance du port des gants (Baldi *et al.*, 2006; Ramos *et al.*, 2010).

3.2.2.4.5. Paramètres liés à l'opérateur

Le niveau d'instruction et de formation est un paramètre aussi important pour éviter l'exposition de l'opérateur aux pesticides (FAO, 2001). Plus l'opérateur est instruit et formé, plus l'exposition diminue car il a une compréhension et un respect des informations mentionnées sur les étiquettes (dose à appliquer, consignes de sécurité, etc.) (Machado-Neto, 2001; Lebailly *et al.*, 2009). Aussi, le fait de porter de vêtements propres pendant l'utilisation des pesticides et de se laver les mains ou de se doucher proprement après utilisation des pesticides, permet de réduire

l'exposition (Dosemeci *et al.*, 2002). Les enfants, les femmes, les personnes âgées et les individus qui ont des problèmes de santé sont habituellement les plus sensibles aux pesticides (Samuel et St-Laurent, 2001; FAO et OIT, 2013).

3.2.2.4.6. Paramètres liés aux conditions météorologiques

Durant l'application des produits phytosanitaires, les fortes températures et l'humidité élevée tendent à augmenter la pénétration des produits à travers la peau (Aubertot *et al.*, 2005; Fenske et Day, 2005; Gil *et al.*, 2008; Vitali *et al.*, 2009). Quant au vent, il a des effets sur la répartition du produit et la contamination de l'opérateur et des écosystèmes, car lors de la pulvérisation et en fonction du vent, 30 à 50 % de la quantité appliquée peut être perdue dans l'atmosphère, sans atteindre les plantes (Aubertot *et al.*, 2005; Gil *et al.*, 2008). Les vitesses de vent admises se situent entre 1 et 2 m/sec (FAO, 2001; Schiffers et Moreira, 2011; El-Aissaoui, 2015).

3.2.3. Analyse des « dangers » et analyse des « risques »

L'analyse des dangers ou « Hazard analysis » est un terme faisant partie du système Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) dans le cadre de la sécurité alimentaire. C'est un système qui identifie, évalue et maîtrise les dangers significatifs au regard de la sécurité des aliments. L'HACCP s'intéresse aux 3 classes de dangers pour l'hygiène des aliments :

- les dangers biologiques (virus, bactéries...);
- les dangers chimiques (pesticides, additifs...);
- les dangers physiques (bois, verre...).

L'analyse des dangers est effectuée au niveau de l'entreprise et est spécifique d'une entreprise à l'autre. Elle est composée de deux parties (AFSCA, 2005; Schiffers et Samb, 2011) :

- l'identification des dangers (biologiques, chimiques ou physique) qui peuvent être présents dans une denrée alimentaire spécifique ou dans un groupe de denrées alimentaires et pouvant générer de réelles conséquences néfastes pour la santé du consommateur ;
- l'évaluation des dangers qui prend en considération la nature des dangers et leur importance dans la denrée alimentaire concernée, et pendant laquelle on détermine à quel point il est nécessaire de maîtriser certains dangers de manière à pouvoir garantir la sécurité de la denrée alimentaire.

Le but de l'analyse des dangers est d'établir, du point de vue qualitatif, les dangers qui sont significatifs et qui sont capables de se produire si la maîtrise fait défaut ou échoue.

L'analyse des risques consiste logiquement à répondre aux trois questions suivantes (Wall, 2011) :

- Qu'est-ce qui peut conduire à des situations de danger ?
- Quelles sont les malchances pour que ces situations se produisent ?
- Si elles se produisent, à quelles conséquences doit-on s'attendre ?

La première question consiste à rechercher les scénarios (Si) pouvant conduire à une défaillance. La deuxième question consiste à évaluer la possibilité d'apparition de chaque scénario Si à partir d'une mesure d'occurrence (dans une approche probabiliste, il s'agira de la probabilité Pi associée à Si). La troisième question va porter sur la description et l'estimation des conséquences Ci liées au scénario Si.

Ainsi, l'activité d'analyse de risques va consister à évaluer le risque R défini par l'ensemble des triplets : $R = \langle Si, Pi, Ci \rangle$.

Le **Tableau 10** permet de comparer plus facilement les deux approches : analyse des « dangers » et analyse des « risques » (Schiffers et Samb, 2011).

Tableau 10 : Comparaison entre analyse des « dangers » et analyse des « risques »

Analyse des dangers	Analyse des risques
<p>Se pratique au niveau de l'entreprise, et est spécifique à une entreprise.</p> <p>Se rapporte au processus de production de l'entreprise.</p> <p>Fait appel à de l'expertise interne (responsable qualité de l'entreprise).</p> <p>Finalités :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prévenir et maîtriser les dangers ; - Mettre en place un système de management de la qualité sanitaire (SMQS) ; - Identifier les compétences internes nécessaires. <p>Activités importantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identifier et évaluer les dangers ; - Etablir les points d'attention (PA) et point du processus critique (CCP) dans le processus pour la maîtrise des risques (HACCP) ; - Etablir les mesures de maîtrise ; - Vérifier le SMQS et former le personnel. 	<p>Se pratique au niveau d'un secteur ou même de l'ensemble de la chaîne alimentaire, et concerne tous les opérateurs.</p> <p>Se rapporte à la politique sanitaire d'un état ou d'un secteur et aux modes de gestion mis en place.</p> <p>Fait appel à de l'expertise interne et externe (scientifique et indépendante).</p> <p>Finalités :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajuster la politique sanitaire ; - Communiquer vers les opérateurs ; - Identifier les risques émergents. <p>Activités importantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identifier et évaluer les risques ; - Etablir les normes et réglementations ; - Valider les Guides d'autocontrôle ; - Programmer les contrôles ; - Communiquer.

3.2.4. Importance de l'analyse des risques

Pour les entreprises alimentaires, l'analyse des risques leur permet de répondre aux exigences réglementaires et commerciales pour la sécurité et la salubrité de leurs produits. Il est donc important pour un opérateur d'entreprise de maîtriser tous les dangers, à tous les stades du cycle de vie de ses produits (conception, production, stockage, transport, distribution), afin de respecter les spécifications (réglementaires et commerciales) et garantir la sécurité des consommateurs (Schiffers et Samb, 2011).

Pour les autorités, l'analyse des risques permet de prendre les mesures de gestion qui conviennent pour l'ensemble des opérateurs actifs dans la chaîne alimentaire et ramener le risque à un niveau plus acceptable : établissement de normes (limites acceptables), de réglementations (obligations) et organisation des contrôles (vérifications). C'est à l'« autorité » qu'appartiendra de définir l'acceptabilité du risque, ce qui implique de caractériser les risques, puis de les hiérarchiser et de les différencier en termes de priorités sur base d'une appréhension correcte (Schiffers et Samb, 2011).

L'objectif final d'une analyse des risques est de pouvoir prendre une décision stratégique bien fondée sur base d'un résultat qualitatif ou quantitatif.

3.2.5. Composantes de l'analyse des risques

L'analyse des risques se compose de trois parties reliées entre elles par un lien de collégialité (AFSCA, 2005; Schiffers et Samb, 2011) :

1. *Evaluation des risques (risk assessment)* ;
2. *Gestion des risques (risk management)* ;
3. *Communication sur les risques (risk communication)*.

La **Figure 11** illustre la structure systématique d'analyse des risques.



Figure 11 : Structure de l'analyse des risques.

3.2.5.1. Evaluation des risques (risk assessment)

La première composante de l'analyse des risques est l'« évaluation des risques ». Elle correspond à un processus fondé scientifiquement, qui doit avoir lieu indépendamment de la gestion des risques. Elle est scindée en 4 étapes :

- l'identification des dangers (hazard identification) ;
- la caractérisation des dangers (hazard characterisation ou dose-response assessment) ;
- l'estimation de l'exposition (exposure assessment) ;
- la caractérisation des risques (risk characterisation).

Etape 1 : Identification des dangers

L'objectif de cette étape est de décrire sur base qualitative les dangers (micro)biologiques, chimiques ou physiques qui sont à l'origine d'un risque pour la santé ou de l'environnement en fonction du domaine dans lequel le risque est évalué. Pour ce faire, on fait largement appel à la littérature existante. Ainsi, en ce qui concerne l'identification des dangers chimiques, on procédera à la description des effets nocifs de la substance ainsi que le profil (groupe d'âge, sexe,...) et l'étendue de la population qui encourt le risque.

Etape 2 : Caractérisation des dangers

Au deuxième stade de l'analyse des risques, on procède à la caractérisation des dangers correspondant à l'évaluation qualitative (décrire les symptômes, les effets) et/ou quantitative (décrire la gravité du danger en fonction de la dose) de la nature des effets néfastes sur la santé associés aux agents biologiques, chimiques et physiques qui peuvent être présents dans les denrées alimentaires :

- pour les agents biologiques et physiques, on procédera à une détermination de la dose-réponse si on peut se procurer des données ;
- pour les agents chimiques, il y a lieu de procéder à une détermination de la courbe dose-réponse (si les données sont disponibles).

Etape 3 : Evaluation de l'exposition

L'estimation de l'exposition consistera à combiner des informations sur la prévalence et la concentration du danger dans la denrée avec celles relatives à la consommation. On traduira ainsi la probabilité que le consommateur soit exposé à des quantités ou des concentrations variables d'un agent biologique, chimique ou physique via l'alimentation et, le cas échéant, par d'autres voies d'exposition.

Pour réaliser cette évaluation, on doit donc disposer de données :

1. *Sur la contamination de la denrée* par exemple la quantité moyenne de pathogènes alimentaires, ou la concentration probable en contaminants, auxquelles le consommateur peut être exposé au moment de la consommation en travaillant en cas d'absence de données avec les limites acceptables fixées telles que les Limites Maximales en résidus (LMR).
2. *Sur la consommation de la denrée* en utilisant les données relatives aux habitudes alimentaires (enquêtes de consommation). L'estimation se base soit sur la moyenne (en g/jour) de la consommation/jour de la population dans son

ensemble, soit, pour tenir compte des « *gros consommateurs* », sur les percentiles ($P_{97,5}$; P_{90}) des consommations/jour. Il faut aussi prendre en considération, quand c'est possible et quand c'est justifié, certaines catégories spécifiques de la population (ex. : les adultes et les enfants, pour lesquels le niveau de risque peut être différent en raison de leurs différences de consommation et de poids corporel).

Pour rassembler les informations, on peut faire appel à la littérature scientifique, à des tests de croissance, à des tests de conservation, aux résultats de recherche analytique, à des modèles mathématiques et à des études sur les habitudes alimentaires.

Pour l'évaluation de l'exposition à l'aide de données sur la consommation et de données sur la contamination, on peut utiliser la méthode déterministe, la méthode probabiliste ou une combinaison des deux. La méthode déterministe utilise des estimations ponctuelles, aussi bien pour la consommation que pour la contamination, comme la moyenne, le 95^{ème} percentile, le maximum. Dans l'estimation probabiliste de l'exposition, on fait appel à la distribution de la consommation et à la distribution de la contamination de la population. Une combinaison des deux techniques est également possible, en utilisant par exemple une estimation ponctuelle pour la consommation (par exemple la moyenne) et en prenant en compte la distribution complète pour les données de consommation.

Etape 4 : La caractérisation des risques

Une dernière étape de l'évaluation des risques est la réalisation d'une caractérisation des risques. C'est une estimation basée sur l'intégration de toutes les données obtenues lors des étapes précédentes. Elle a pour objectif de déterminer la probabilité de survenue d'un danger, ainsi que l'ampleur des conséquences économiques et sociales indésirables qui y sont liées. Ce classement doit ensuite permettre de prendre une décision concernant l'acceptation ou la non acceptation d'un risque donné.

La caractérisation du risque peut être exprimée qualitativement (risque élevé, moyen ou faible) ou quantitativement (ex. : en % de la dose de référence aiguë (ARfD) ou de la dose journalière admissible (DJA) pour un groupe de consommateurs). Elle doit également tenir compte explicitement de la variabilité, des incertitudes (données incomplètes, connaissance partielle), ainsi que des suppositions faites, avec pour but de donner une idée de la fiabilité de l'estimation du risque.

L'évaluation sera complétée par la définition des options possibles de maîtrise du risque : liste des méthodes disponibles, des moyens permettant à priori de contrôler le risque. En changeant les paramètres d'un modèle d'évaluation des risques, les experts pourront aussi sélectionner et proposer aux gestionnaires les options les plus efficaces.

3.2.5.2. Gestion des risques (risk management)

Après avoir effectué une évaluation des risques, on procède à la **gestion des risques**. Pour cette opération, on évalue les informations relatives aux dangers et aux risques qui ont été collectées pendant l'évaluation des risques, par rapport à d'autres facteurs importants qui influenceront aussi les décisions finales en matière de gestion. Cette seconde composante correspond donc aux décisions « politiques » prises notamment par les autorités pour maintenir les risques à des niveaux acceptables.

Ensuite, les autorités doivent établir et mettre en œuvre des mesures stratégiques adéquates, afin de réduire de la manière la moins coûteuse possible la probabilité d'apparition de risques inacceptables.

3.2.5.3. Communication sur les risques (risk communication)

Un dernier élément de la systématique de l'analyse des risques est la **communication sur les risques**. Cette communication implique toutes les parties prenantes dans le processus d'analyse des risques afin d'échanger sur les informations relatives à l'évaluation et à la gestion des risques. Cette troisième composante de l'analyse de risque permet à toutes les parties prenantes d'être informées sur la nature, l'origine et la criticité des risques d'une part. Elle permet ainsi aux autorités de construire un programme de surveillance et de planifier les contrôles dans la chaîne alimentaire. D'autre part, elle permet aussi d'informer les opérateurs sur les mesures de maîtrise qui se sont avérées réellement efficaces. Par ailleurs, on peut aussi communiquer lors des étapes précédentes (durant l'évaluation des risques et la gestion des risques) avec les personnes concernées (voir **figure 11**).

3.2.6. Impacts de l'usage des pesticides en production agricole au Burkina Faso

Cinq types d'impacts ont été jugés pertinents pour le Burkina Faso, malgré l'insuffisance de données.

3.2.6.1. Impacts sur la santé humaine

Au Burkina Faso, des cas d'intoxications aiguës ont été rapportés par plusieurs auteurs (IFDC, 2007; Toé, 2010; Congo, 2013; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2017). Dans l'enquête de Toé (2010), 296 producteurs sur un total de 650 (ou 45%) se plaignaient de cas d'intoxications aiguës au cours ou après l'application de pesticides. Il faut bien noter qu'il s'agit de déclarations sur un ressenti, et non des résultats d'un examen médical. Par ailleurs, il n'existe malheureusement aucune donnée sur les maladies chroniques engendrées par l'emploi répété des pesticides en cultures maraîchères au Burkina Faso.

3.2.6.2. Impact sur l'économie du pays

De façon générale, on constate une hausse des dépenses budgétaires dans l'importation des pesticides au Burkina Faso (confère **Tableau 9**). Ajayi (1998) cité par Lankoande et Maradan (2013), a réalisé une étude sur l'impact économique des conséquences des intoxications constatées en production cotonnière. D'après ce chercheur, pour une superficie moyenne de 2,96 ha de coton, elles sont en moyenne

responsables de 0,66 jours sans travail. Si on extrapole ces données aux superficies consacrées à la culture de tomate en 2014 (11.766,39 ha) au Burkina Faso, il en résulterait 2.624 jours de perte de travail. Si l'on compte un salaire journalier de 600 FCFA/jour (0,92 €) dans les zones maraîchères, il en résulte une perte économique de 1.574.400 FCFA (2.402 €). Il est légitime que ce chiffre soit sous-estimé car en maraîchage les traitements sont plus fréquents et le calendrier cultural s'étend sur presque toute l'année contrairement à la culture du coton. Le nombre de jours chômés des producteurs maraîchers pour cause d'intoxication doit donc être encore plus important.

3.2.6.3. Impact sur les organismes et sur la fertilité des sols

Les vers de terre et autres organismes du sol assurent des fonctions agro-écologiques importantes et peuvent être exposés aux pesticides via la solution du sol. Gountan (2013) constate dans un champ de tomate au Burkina Faso, une réduction de 62% de la densité des termites par exposition à la lambda-cyhalothrine et une réduction de 40% de la densité totale des autres groupes de la macrofaune par exposition au chlorpyrifos-éthyl. Par conséquent, on doit faire particulièrement attention aux effets nocifs des produits phytosanitaires sur la microflore du sol, laquelle est essentielle au maintien de la fertilité.

3.2.6.4. Impact sur les insectes pollinisateurs, les prédateurs et sur les parasitoïdes

L'exposition des ennemis naturels et des insectes pollinisateurs aux pesticides se fait soit par contact direct, soit par contamination de leurs hôtes, soit par ingestion d'eau, de pollen et de nectar contaminés par les pesticides (Tasei, 1996; Fernandes *et al.*, 2010). Leur disparition aura pour conséquences la résurgence de certains ravageurs et l'éruption de ravageurs secondaires (Gallo *et al.*, 2002 cités par Fernandes *et al.*, 2010; Amichot *et al.*, 2005 cités par Charbonnier *et al.*, 2015). La pollinisation par les insectes représentant à elle seule 9,5% de la valeur de la production agricole mondiale (AREM (Agricultural Resources and Environmental Management), 2011), leur disparition suite à l'utilisation des pesticides a donc un coût caché pour les paysans (diminution des rendements). Les fruits et les légumes font partie des cultures les plus impactées (Pimentel, 2005).

3.2.6.5. Impact sur la qualité des points d'eau et sur les organismes aquatiques

Dans les exploitations agricoles du Burkina Faso, l'eau d'irrigation (cours d'eau, barrage et puits maraîchers) sert aussi à la consommation humaine et animale. Plusieurs études ont mis en exergue la contamination des points d'eau par les pesticides au Burkina Faso (Bayili, 2014; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2017). L'enquête de Lankoande et Maradan (2013) établit que 12,5% des points d'eau du Burkina Faso dans les exploitations agricoles sont contaminés par les pesticides et les coûts additionnels d'un ménage pour l'obtention d'eau potable sont estimés à 16.700 FCFA (25,47€) par an. En plus de rendre les eaux impropres à la consommation, les pesticides peuvent impacter les populations de poissons et d'autres organismes aquatiques, soit en les intoxiquant, soit en réduisant leurs

aliments essentiels comme les insectes et autres invertébrés (Isenring, 2010). Aussi, les retenues d'eau pouvant servir à l'élevage de poissons ou à la pêche, on peut craindre un transfert des résidus de pesticides dans la chaîne alimentaire jusqu'à l'homme, comme cela a été observé au Bénin sur des tilapias dans des conditions fort similaires (Agbohessi *et al.*, 2012).

3.3. Gestion des risques liés aux produits phytosanitaires au Burkina Faso

Face à la pression et aux impacts négatifs des pesticides sur la santé humaine et sur l'environnement, certaines mesures incitatives à la limitation de l'utilisation des pesticides sont apportées par l'état burkinabè et ses partenaires. Ces mesures portent sur l'élaboration et la mise en place effective des textes réglementaires, les actions de sensibilisations et de formation des producteurs sur les bonnes pratiques phytosanitaires, la mise en place des méthodes de lutte alternative à l'usage des pesticides, etc.

3.3.1. Cadre réglementaire sur la gestion des pesticides au Burkina Faso

Pour atténuer l'impact des pesticides sur la santé publique et sur l'environnement, le Burkina Faso a signé plusieurs accords et conventions internationaux et régionaux régissant la production, la commercialisation, et l'utilisation des pesticides.

Parmi les conventions internationales signées par le Burkina on peut citer :

- La *Convention de Bâle* sur le contrôle des mouvements transfrontaliers des déchets dangereux et leur élimination. Elle a été établie le 22 mars 1989 en Suisse et ratifiée par le Burkina Faso le 29 juillet 1998 ;
- La *Convention de Rotterdam* sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause applicable aux produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet du commerce international. Signée en 1998, elle a été ratifiée par le Burkina Faso le 14 mars 2002 ;
- La *convention de Stockholm* sur les Polluants Organiques Persistants (POPs) qui résistent à la dégradation, s'accumulent dans les organismes vivants et sont propagés par l'air, l'eau et les espèces migratrices. Entrée en vigueur le 17 mai 2004, elle a été ratifiée le 20 juillet 2004 par le Burkina Faso.
- Le *Code international* de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides (FAO, 2012a). « Ce code fixe dans son article 1^{er} les responsabilités et établit les règles volontaires de conduite pour les organismes publics et privés s'occupant de, ou intervenant dans, la distribution et l'utilisation des pesticides. Ce code est destiné à servir de référence aux autorités nationales, aux fabricants de pesticides, aux milieux commerciaux et à tous les citoyens intéressés pour déterminer, si les activités qu'ils envisagent ou les activités de tiers constituent des pratiques acceptables dans le contexte de la législation nationale ».

- Le *Codex alimentarius*. Créée en 1961 sous l'égide de la FAO et de l'OMS, cette organisation internationale sur les résidus de pesticides, fixe les Limites Maximales de Résidus (LMR) dont le dépassement pourrait causer des dommages sanitaires à la longue durée. Ces LMR donnent une indication sur l'éventuelle intoxication à la suite d'une ingestion quotidienne d'une certaine quantité de pesticides caractérisée par la dose journalière acceptable.

Au niveau régional, les conventions signées par le Burkina Faso portant sur la gestion des pesticides sont, entre autres :

- La convention de Bamako portant sur les conditions précises d'importation en Afrique des déchets dangereux et s'applique au contrôle des mouvements transfrontaliers et la gestion de ces déchets dangereux à l'intérieur des pays africains. Elle a été établie le 30 janvier 1991 et ratifiée par le Burkina Faso le 20 septembre 1993 ;
- La réglementation commune aux Etats membres du Comité Inter-Etat de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) dont le Burkina Faso sur l'homologation des pesticides. Elle a été adoptée en 1992 par la mise en place du Comité Sahélien des Pesticides (CSP) chargé de l'évaluation et de l'homologation des pesticides dans cet espace ;
- Les règlements n°04/2009//CM/UEMOA et n°C/REG.3/05/2008/CEDEAO relatifs à l'harmonisation des règles régissant l'homologation, la commercialisation et le contrôle des pesticides au sein de l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) et de la Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO).

En plus de ces accords internationaux et régionaux, le Burkina Faso a institué des lois (loi portant sur le contrôle de la gestion des pesticides au Burkina Faso et le Code de l'environnement) et décrets portant sur la production, l'importation, l'exportation, le stockage, la commercialisation, l'utilisation, le recyclage et l'élimination des pesticides et autres produits chimiques dangereux (MAAH, 2017c). C'est ainsi qu'au Burkina Faso, tout pesticide n'ayant pas fait l'objet d'homologation ou ne bénéficiant pas d'une Autorisation Provisoire de Vente (APV) du CSP ne peut faire l'objet de fabrication, d'importation, de vente, de mise en vente, de détention ou de distribution à titre gratuit. Et même les prestations de service portant sur de tels produits sont prohibées (art. 2 de la loi instituant un contrôle de pesticides au Burkina Faso ; art. 42 et 43 du Code de l'environnement). Les pesticides périmés ou obsolètes sont également interdits de commercialisation au Burkina Faso.

Le cadre institutionnel relatif à la gestion des pesticides au Burkina Faso comprend le Comité National de Gestion des Pesticides (CNGP, ex CNCP), la Direction de la Protection des Végétaux et du Conditionnement (DPVC), la Direction Générale de l'Amélioration du Cadre de Vie (DGACV) et les différentes structures de commercialisation des pesticides. La CNGP qui est composé de 13 départements ministériels, de la municipalité, des organisations professionnelles et des organisations de défense des consommateurs (art.3 de la loi instituant un contrôle des pesticides au Burkina Faso) est chargé, entre autres :

- du suivi et l'évaluation de la législation sur les pesticides ;

- de l'étude des dossiers de demandes d'agrément ;
- du suivi et l'évaluation des résolutions et recommandations du CSP ;
- de l'étude et avis sur les produits relevant des conventions de Rotterdam et de Stockholm ;
- de la vérification de l'enregistrement des pesticides autorisés, réglementés et interdits ;
- de donner son avis sur les questions liées à la pollution due aux pesticides.

La DPVC qui abrite la sous-commission anti-fraude de la CNGP, a, entre autres pour mission de veiller à la bonne application des textes législatifs et réglementaires sur les pesticides. Cette tâche est menée en collaboration avec les structures des départements ministériels chargés de l'Environnement, du Commerce, des Ressources animales, de l'Economie, de la Recherche scientifique, de la Santé, du Travail et de la Justice. Elle a deux grands axes d'intervention.

Au niveau central, la DPVC compte trois (3) services avec des agents qui supervisent les activités de contrôle. Il s'agit du :

- Service de la législation, du contrôle phytosanitaire et des pesticides;
- Service de surveillance phytosanitaire et des interventions ;
- Service du contrôle du conditionnement et de la qualité des produits.

Au niveau déconcentré, le contrôle des pesticides à l'importation et à l'exportation est assuré par un cordon de 20 postes de contrôle situés aux frontières terrestres, aux gares ferroviaires, aéroportuaires et routières.

La DGACV a pour mission, la coordination de la mise en œuvre et du suivi de la politique nationale en matière d'assainissement de lutte contre les pollutions et nuisances diverses, de la promotion des évaluations environnementales ainsi que de celle des aménagements paysagers, aussi bien en milieu urbain que rural. C'est la structure chargée du suivi de la convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants (POPs).

Malgré l'existence d'un ensemble de ces textes et dispositions réglementaires couvrant tous les aspects de l'activité phytosanitaire (depuis la fabrication jusqu'à l'utilisation effective), des insuffisances subsistent, rendant difficile leur application. Il s'agit entre autres :

- de l'insuffisance d'harmonisation des méthodes et pratiques basées sur la concertation de tous les acteurs du domaine des pesticides ;
- de l'insuffisance de moyens matériels, financiers et humains pour contrôler les importations frauduleuses des produits chimiques en raison de la perméabilité des frontières.

3.3.2. Prévention et gestion des risques d'intoxication

3.3.2.1. Elaboration des plans de gestion des pesticides au Burkina Faso

Dans l'optique de prévenir et d'atténuer d'éventuelles effets négatifs des pesticides, des Plans de Gestion des Pestes et Pesticides (PGPP) ont été élaborés grâce à l'appui technique et financier de certains projets et programmes (MEF, 2011, 2015) afin

d'encadrer l'usage et la gestion de ces produits et ce, conformément à la réglementation en vigueur au Burkina Faso et à la politique opérationnelle de certains bailleurs de fonds. Cependant, ces plans ne sont pas encore mis en œuvre ou restent non fonctionnels certainement pour des raisons économiques et administratives.

En ce qui concerne la gestion des emballages vides de pesticides, seule la SAPHYTO possède à ce jour une unité de recyclage, de récupération et d'élimination des produits chimiques et des déchets. Le Burkina Faso dispose d'un centre de décontamination de fûts vides de pesticides, mais celui-ci reste non fonctionnel à nos jours.

3.3.2.2. Renforcement des capacités techniques et organisationnelles des producteurs

Pour une utilisation rationnelle des pesticides, des actions de formation, de sensibilisation, d'information associant différents acteurs sont conduites par l'Etat burkinabè et par certains projets et programmes. Parmi ces services étatiques et projets et programmes, on a la CNGP, la DPVC, l'INERA, la GIPD, le COLEACP/PIP, la coopération belge (« *Projet de renforcement des capacités de diagnostic et de gestion intégrée des problèmes phytosanitaires au Burkina Faso* », projet de l'UCL et de l'ULg financé par l'ARES), etc. En plus de ces sessions de formation, la DPVC a mis en place des « brigadiers phytosanitaires » dans les 13 régions du Burkina Faso. Ces derniers, qui ont été dotés en appareils de traitements, en produits phytosanitaires et en kits de protection individuelle, assurent contre rémunération les traitements phytosanitaires. Il faut noter aussi la mise en place par la DPVC de « cliniques des plantes » pour un meilleur diagnostic et conseil des producteurs sur les méthodes de lutte et l'usage des pesticides, même si ces dernières restent faiblement fonctionnelles par manque de matériel.

3.3.2.3. Développement des méthodes alternatives

Les méthodes alternatives à l'utilisation des pesticides chimiques, sont faiblement développées ou exploitées au Burkina Faso. Elles portent plus sur la création des variétés résistantes ou tolérantes aux maladies et ravageurs et l'utilisation de biopesticides. Traoré et Ouédraogo (2012) cités par MEF (2015) ont recensé la mise en œuvre de plus de 90 technologies et innovations dans le domaine de la gestion des ravageurs par l'INERA au Burkina Faso. Le défi est de vulgariser ces techniques alternatives auprès des paysans.

3.4. Gestion intégrée des bioagresseurs en production maraîchère

3.4.1. Définitions de quelques concepts (lutte intégrée, protection intégrée et production intégrée)

3.4.1.1. Lutte intégrée

La lutte intégrée est une approche écosystémique de la production et de la protection des cultures qui combine différentes stratégies et pratiques de gestion pour cultiver des cultures saines et minimiser l'utilisation de pesticides (FAO, 2017). Elle repose sur la prise en considération de toutes les méthodes de protection des plantes disponibles et leur intégration, afin de décourager le développement des populations d'organismes nuisibles. Le recours aux produits phytosanitaires et à d'autres types d'interventions est limité à des niveaux justifiés des points de vue économique et environnemental, afin de réduire au maximum les risques pour la santé humaine et l'environnement. Au sein de l'Union Européenne, la lutte intégrée est définie par la directive communautaire 91/414/CEE comme «l'application rationnelle d'une combinaison de mesures biologiques, biotechnologiques, chimiques, physiques, culturelles ou intéressant la sélection des végétaux, dans laquelle l'emploi de produits phytopharmaceutiques est limité au strict nécessaire pour maintenir la présence des organismes nuisibles en dessous de seuil à partir duquel apparaissent des dommages ou une perte économiquement inacceptables» (Lucas, 2007). La lutte intégrée privilégie l'observation et la réflexion agronomiques plutôt que le traitement systématique. Sa boîte à outils comprend notamment la rotation des cultures, l'utilisation de cultivars résistants, le renforcement des organismes utiles, la surveillance des organismes nuisibles par des observations sur le terrain, la définition d'un seuil d'intervention et l'évaluation du taux de réussite des mesures phytopharmaceutiques appliquées. Orr (2003) conçoit l'IPM comme une méthode de rationalisation de l'utilisation des pesticides pour prévenir ou retarder la résurgence des populations de ravageurs, qui sont devenues résistantes aux pesticides et pour protéger les insectes bénéfiques.

Dans son sens restreint, la lutte intégrée s'applique à la gestion d'une seule espèce de ravageur dans des cultures données ou dans des lieux particuliers, mais de façon élargi, elle s'applique à la gestion harmonieuse de toutes les populations d'organismes nuisibles dans leur environnement agricole (Ferron, 1999).

3.4.1.2. Protection intégrée des cultures

Dans la définition donnée par l'Organisation Internationale de Lutte Biologique (OILB), la protection intégrée des cultures est un système de lutte contre les organismes nuisibles qui utilise un ensemble de méthodes permettant de satisfaire à la fois les exigences économiques, écologiques et toxicologiques tout en réservant la priorité à la lutte biologique et en respectant les seuils de tolérance (Ferron, 1999). Pour Lucas (2007), cette définition de l'OILB n'est pas très différente de celle de la lutte intégrée, si ce n'est qu'elle suggère de prendre en compte l'ensemble des organismes nuisibles d'une culture. Selon lui, la protection intégrée des cultures fait appel à un ensemble de leviers qui visent à empêcher l'établissement des

populations de bioagresseurs au sein des cultures, à rendre ces cultures à la fois moins propices à leur développement et moins vulnérables aux dégâts qu'elles pourraient occasionner. Elles peuvent n'avoir, individuellement, qu'une efficacité partielle et c'est leur combinaison qui par effet complémentaire ou additif rend la stratégie pertinente.

Pour Blocaille (2017), la protection intégrée s'appuie sur des pratiques agissant à différentes étapes des cycles du bioagresseur en empêchant ou ralentissant son développement, à tous les stades afin de baisser la pression qu'il pourrait exercer sur la culture.

3.4.1.3. Production intégrée

La 3ème édition des principes généraux et directives techniques de production intégrée définit la production intégrée comme une production économique de produits de haute qualité, donnant la priorité à des méthodes écologiquement plus sûres, minimisant l'utilisation et les effets indésirables des produits agrochimiques et visant à l'amélioration de la sécurité environnementale et de la santé humaine (Boller *et al.*, 2004). Elle se donne pour objectifs de promouvoir les systèmes de production respectueux de l'environnement, économiquement viables et soutenant les fonctions multiples de l'environnement, à savoir ses aspects sociaux, culturels et récréatifs, d'assurer une production durable de produits sains de haute qualité contenant moins de résidus de pesticides, de protéger la santé des agriculteurs lorsqu'ils manipulent des produits agrochimiques, de promouvoir et maintenir une haute diversité biologique des agro-écosystèmes concernés et des aires périphériques, de donner la priorité à des mécanismes de régulation naturelle, de préserver et promouvoir à long terme la fertilité des sols, de minimiser la pollution de l'eau, du sol et de l'air (Lucas, 2007).

3.4.2. Processus de mise en œuvre de la protection intégrée

La mise en œuvre de la protection intégrée des cultures nécessite d'une part, une connaissance du ou des bioagresseur(s) à combattre et de la culture à mettre en place dans la zone et d'autre part, la mise en œuvre des mesures (indirectes et directes) de protection.

3.4.2.1. Connaissance du ou des ravageur(s) et de la culture à mettre en place

La connaissance au sens large du ravageur (sa biologie, historique de sa manifestation, spécificité pour la culture ou d'autres plantes hôtes, sa distribution, ses mouvements, existence d'auxiliaires capables d'en atténuer l'agressivité,...) constitue la base du système de protection mis en place (Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017). Une bonne identification du ravageur permet d'une part d'évaluer l'efficacité des méthodes préventives à mettre en œuvre et, d'autre part, de faire un choix éclairé quant aux méthodes de lutte à appliquer ; et lorsque l'identité de l'organisme nuisible n'est pas connue, une stratégie conçue pour son contrôle peut être vouée à l'échec et les cas d'identité erronée peuvent entraîner des actions inefficaces (Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017). Aussi, la connaissance et la compréhension de la croissance et du développement des cultures est également

un principe sous-jacent de l'IPM, car les interactions entre cultures (périodes sensibles) et nuisibles (ainsi que l'environnement) sont très importantes.

3.4.2.2. Mesures indirectes de protection

Les mesures indirectes de protection regroupent les actions à mener avant que le ou les bioagresseurs ne constituent une menace pour la culture. Elles portent sur l'espèce cultivée et à son environnement pour favoriser sa défense et rendre son accès plus difficile, et les mesures réalisées pour nuire au ravageur en dehors de sa période d'action sur la culture (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017). Ces mesures portent sur :

- *La connaissance de l'historique de la parcelle* : avant toute implantation, il est nécessaire de connaître l'historique de la parcelle (climat, précédent cultural, culture voisine, ...) afin d'évaluer les risques des bioagresseurs (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).
- *La rotation et le travail du sol* : la monoculture favorise le développement des bioagresseurs, qui pourraient proliférer au point de devenir ingérables et la rotation des cultures peut donc contribuer à la diminution des formes de conservation, réduisant ainsi l'attaque des plantes hôtes. Quant au travail du sol (déchaumage, labour, etc.), il permet d'exposer les chrysalides, les larves et les populations d'insectes du sol à leurs ennemis naturels ou au soleil (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).
- *Le choix variétal* : la connaissance des caractéristiques de la variété à utiliser permet d'évaluer sa sensibilité par rapport aux bioagresseurs présents dans la zone (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).
- *La protection des pépinières* : une protection des pépinières avec des filets anti-insecte, permet de protéger les plants des attaques directes des insectes (*Bemisia tabaci*, *Helicoverpa*, *Liriomyza*, *Thrips*...) et des infections précoces par les virus transmis (mouche blanche vecteur de TYLCV) (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).
- *L'implantation de la culture* : plusieurs bioagresseurs se développent mieux lorsque les températures sont élevées. Par conséquent un choix judicieux de la date de semis ou de repiquage en fonction du cycle biologique du bioagresseur permettra d'éviter la coïncidence de la période de sensibilité de la plante avec sa forte pullulation. Il faut tenir compte également de la densité de plantation, car une faible densité de semis ou de repiquage permet d'avoir des plantes plus vigoureuses. Par contre, une densité trop forte produit des plantes filées et étiolées, plus sensibles aux maladies fongiques et aux ravageurs (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).
- *La fertilisation* : une fertilisation équilibrée rend les plantes plus vigoureuses et moins sensible aux bioagresseurs. Par contre, trop d'azote les fragilise et les rend plus attractives aux ravageurs et favorise un développement végétatif important favorable au développement des maladies et au déplacement des ravageurs d'une plante à l'autre (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).

- *L'irrigation* : il faut éviter des sur-irrigations, car une humidité persistante en excès accentue l'action des champignons et des bactéries qui ont souvent besoin d'une longue période d'humidité pour pénétrer dans la feuille. Par contre un stress hydrique (insuffisance d'irrigation) rend sensibles les plantes aux ravageurs dont le développement optimum est conditionné par des climats chauds et secs (acariens, tétranyques, thrips) (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).
- *Favoriser le développement des auxiliaires* : les organismes auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes) jouent un rôle important dans le contexte de la protection intégrée des cultures, car ils peuvent permettre de réduire la fréquence d'apparition de pics de populations de ravageurs impliquant des dégâts économiquement dommageables (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017). D'après Hawkins (1999) cité par (Lozano *et al.*, 2012), un tiers du contrôle naturel des ravageurs serait dû aux insectes prédateurs et parasitoïdes. Pour les USA, le service rendu par ces ennemis naturels a été estimé à 4,49 milliards de dollars par an (Losey et Vaughan, 2006). Il est donc primordial de connaître leur critère d'identification et de favoriser leur installation.
- *Attraction et piégeage par des plantes* : l'intérêt des plantes-pièges est d'empêcher un bioagresseur de se conserver et donc de poursuivre son cycle ou d'empêcher l'attaque de cet ennemi. On peut alors distinguer deux types de plantes-pièges dont le facteur principal d'efficacité est l'attractivité :
 - Plantes sensibles qui seront détruites après, ce qui conduira également à la destruction de l'ennemi ;
 - Plantes résistantes qui auront un effet direct néfaste sur l'ennemi par émission de toxines, par réaction hypersensible (autodestruction) ou par reprise du cycle sans possibilité d'alimentation pour l'ennemi concerné.
- *Surveillance et évaluation des risques* : une fois que l'organisme nuisible a été correctement identifié, la surveillance doit être de mise, car elle permet de faire un état sanitaire des cultures (observation des ravageurs, présence de symptômes) et une évaluation du risque phytosanitaire de la parcelle en fonction des seuils de nuisibilité des ravageurs (Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017). L'estimation des populations de ravageurs peut se faire grâce à la pose de pièges (pièges jaunes à eau, pièges lumineux, pièges à phéromones, pièges collants, etc.) au sein des parcelles.
- *Établir un seuil d'action (économique, sanitaire)* : la question est de savoir à quel seuil, faut-il intervenir ? Dans certains cas, il existe un nombre normalisé d'organismes nuisibles qui peuvent être tolérés. En absence d'un seuil établi pour le ravageur, le seuil d'intervention doit être défini en fonction du seuil économique. Par exemple, le producteur peut contrôler le coût au moment où le coût des dommages causés par le bioagresseur est supérieur au coût du contrôle.

3.4.2.3. Mesures directes une fois les ravageurs observés dans la culture

Les mesures directes concernent les techniques qui visent à éloigner ou à combattre les ravageurs en situation de nuire de façon significative aux productions. On peut les classer en trois catégories : les mesures physiques, biologiques et chimiques. Ces dernières ne doivent être appliquées qu'en dernier recours et après avoir examiné les autres possibilités et lorsque le seuil de nuisibilité est atteint ou dépassé (Schiffers, 2011; Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).

- *Les procédés physiques* portent sur les dispositifs physiques, comme l'utilisation des filets anti-insectes, les captures en masse par piégeage (pièges à phéromone, pièges à eaux, ...), ou l'utilisation des techniques faisant intervenir des hautes températures comme par exemple les traitements à l'eau chaude qui peuvent être utilisés pour assainir les semences, les plants ou le sol contre les champignons et les nématodes (Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).
- *Les procédés biologiques* peuvent consister à favoriser le développement d'auxiliaires indigènes ou acclimatés (introduit sur le territoire) ou à des lâchers inondatifs de macro-organismes auxiliaires dans la culture dans le but de maîtriser rapidement les populations d'organismes nuisibles comme le ferait un traitement chimique. Leurs voies d'actions sont la prédation ou le parasitisme. Par exemple le *Macrolophus pygmaeus* est un prédateur déjà largement utilisé dans les stratégies contre les aleurodes, et qui se montre efficace sur les œufs et les larves de *Tuta absoluta*, surtout sur les jeunes larves de 1^{er} et 2^{ème} stades (Blocaille, 2017). Ces procédés biologiques portent également sur les substances naturelles, car certaines d'entre elles, peuvent être utilisées comme produits de biocontrôle. Il est cependant souvent conseillé de les utiliser en combinaison avec d'autres méthodes alternatives (préventives ou curatives) (Blocaille, 2017).
- *Les procédés chimiques* marqués par l'utilisation des produits phytosanitaires interviennent en derniers recours et lorsque le seuil économique est atteint ou dépassé. Le producteur intervient en choisissant, parmi les spécialités autorisées, celles qui sont le plus spécifiques au problème et qui présentent les moindres risques par rapport à la santé humaine, aux organismes non cibles et à l'environnement. Lors de la prise de décision d'effectuer un traitement chimique, il faut aussi avoir en tête la gestion des résistances qui entraîneraient une baisse de l'efficacité des produits voire leur inefficacité. Pour cela, il est conseillé d'alterner les familles chimiques pour éviter les phénomènes d'accoutumance ou de résistance des insectes et des maladies dans la mesure du possible (Ehi-Eromosele *et al.*, 2013; Blocaille, 2017).

Partie II : Entomofaune de la tomate au Burkina Faso

Introduction sur l'entomofaune de la tomate au Burkina Faso

Au Burkina Faso, la pression parasitaire constitue la principale contrainte à la production de la tomate, conduisant à une utilisation tout azimut et intensive des produits phytosanitaires. Malheureusement, aucune étude n'a évalué scientifiquement l'abondance et la diversité des insectes associés à la production de tomate au Burkina Faso. Cette insuffisance d'informations rend compliquée la planification de stratégies raisonnées de lutte, car lorsque l'identité de l'organisme nuisible n'est pas connue, toute stratégie conçue pour son contrôle peut être vouée à l'échec. Aussi, avec les échanges commerciaux et les changements climatiques favorables à l'émergence de nouveaux ravageurs, il y a lieu de faire une surveillance sur le terrain afin de fournir des données quantitatives sur les ravageurs et la diversité et l'abondance bénéfiques. D'où l'importance de cette partie de la thèse composée de deux chapitres.

Le premier chapitre (chapitre IV) fait cas de la présence de *Tuta absoluta* au Burkina Faso et le second (chapitre V) établit une première liste des familles d'insectes présentes dans les cultures de tomate dans l'Ouest du Burkina Faso selon leur importance (ravageurs, bénéfiques et associés).

Chapitre 4

First record of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso

First record of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso

D. Son^{1,2*}, S. Bonzi¹, I. Somda¹, T. Bawin³, S. Boukraa³, F. Verheggen³, F. Francis³, A. Legreve⁴ & B. Schiffers²

¹Phytopathology, Institute of Rural Development, Polytechnic University of Bobo-Dioulasso, Sise à Nasso, 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

²Pythopharmacy, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liège, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgium

³Functional and Evolutionary Entomology, University of Liège, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgium

⁴Phytopathology, Earth and Life Institute, Faculté des Bioingénieurs, Catholic University of Louvain, Croix du Sud, 2 bte L7.05.03 B-1348-Louvain-la-Neuve, Belgium

Ce chapitre est une version adaptée de l'article de recherche suivant :

Son D., Bonzi S., Somda I., Bawin T., Boukraa S., Verheggen F., Francis F., Legreve A., Schiffers B., 2017. First record of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso. (Publié dans *African Entomology* 25(1): 259–263. DOI: <http://dx.doi.org/10.4001/003.025.0259>)

Abstract

During a survey on plant protection practices conducted in March 2016, several tomato leafminers were captured in vegetables crops at Goinré site (Ouahigouya) in the northern region of Burkina Faso. Adult specimens were identified as *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) based on male genitalia. This is the first record of this important tomato pest in Burkina Faso. Thanks to favourable climatic conditions encountered in Burkina Faso, it is likely that this pest will spread rapidly on the territory. Moreover, it is now known for its insecticide resistance and ability to develop on alternative host plants. We expect producers to perform additional chemical treatments, leading to increasing risks, including operator exposure to pesticides, environmental pollution and residues on vegetables. The presence of *T. absoluta* in Burkina Faso may also have economic impacts associated with exportation of tomato fruits to neighbouring countries.

Keywords: tomato leafminer, *Tuta absoluta*, genitalia, first report, Burkina Faso.

The tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera; Gelechiidae), native to South America is a widespread invasive species damaging economically important tomato crops (*Solanum lycopersicum* Linnaeus; Solanaceae) (Desneux *et al.*, 2010). The main host plant of *T. absoluta* is tomato, but this pest also attacks other crop plants of the Solanaceae family including potato (*Solanum tuberosum* Linnaeus), eggplant (*Solanum melongena* Linnaeus) and pepper (*Capsicum annum* Linnaeus) (Bloem et Spaltenstein, 2011; Wyckhuys *et al.*, 2013). It also reported on many solanaceous weeds including *Atropa belladonna* Linnaeus, *Datura stramonium* Linnaeus, *Lycium chilense* Bertero, *Nicotiana glauca* Graham, *Solanum dulcamara* Linnaeus and *Solanum nigrum* Linnaeus (EPPO, 2005; Bloem et Spaltenstein, 2011; Wyckhuys *et al.*, 2013; Rey *et al.*, 2014). Females lay eggs on aerial parts of their host plants and a single female can lay a total of about 260 eggs during its lifetime (Torres *et al.*, 2001; EPPO, 2005; Wyckhuys *et al.*, 2013; Rey *et al.*, 2014; Bawin *et al.*, 2015a; Bawin *et al.*, 2015b). *Tuta absoluta* has a high reproductive potential and there may be 10–12 generations per year (EPPO, 2005; Desneux *et al.*, 2010; Bloem et Spaltenstein, 2011; Allache *et al.*, 2012; Guery, 2015). Larvae feed vigorously upon the plant producing large galleries in leaves, fruits, and can cause a yield loss of 100% (EPPO, 2005; Bloem et Spaltenstein, 2011; Wyckhuys *et al.*, 2013). The management of this species is further complicated by its resistance to many insecticides (Siqueira *et al.*, 2000a; Siqueira *et al.*, 2000b; Siqueira *et al.*, 2001; Lietti *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011; Roditakis *et al.*, 2015).

The spread of *T. absoluta* can occur through transportation of the plants, fruits and infested means of transport (harvest box), as well as wind and flights. Infestation of successive crops may occur by the presence of pupae in soil, in weeds, or other host plants, and crop residues (Bloem et Spaltenstein, 2011; Rey *et al.*, 2014).

In northern Africa, *T. absoluta* has reported in Algeria (2008), Morocco (2008), Egypt (2009), Libya (2009), and Tunisia (2009) (Abbes *et al.*, 2012; Chougar *et al.*, 2014; Rey *et al.*, 2014). In 2012, it was found in Ethiopia, Niger, Senegal, and Sudan (Pfeiffer *et al.*, 2013; Brévault *et al.*, 2014), but this species had never been reported in Burkina Faso so far. This paper aims to report the first record of *Tuta absoluta* in Burkina Faso.

In March 2016, during investigations on plant protection practices in tomato crops of the northern region of Burkina Faso, leafminer larvae were found on fruit and leaves of tomato plants in the vegetables crops site of Goinré (Ouahigouya). The galleries were located between leaf epidermal layers, and were conspicuous, irregularly spaced, and of variable sizes. These galleries contained larvae with small heaps of frass found also near the entrance holes (**Figure 12**). Galleries were visible on the surface of green and red tomato fruits. Leafminer adults were also found directly on tomato plots (**Figure 13**).



Source: D. Son

Figure 12 : Leaf damages on tomato caused by *T. absoluta* larvae.



Source: D. Son

Figure 13 : Adult of *T. absoluta* in tomato plot.

Infested tomato fruits, larvae, pupae and adults were collected in the infested plots and brought to the Plant Pathology Laboratory (Clinique des plantes) of the Rural Development Institute (Burkina Faso) for further examinations. Adults, larvae and pupae were tentatively identified as *T. absoluta* under the magnifying glass (**Figures 14, 15 and 16**). Twenty specimens were, also, sent to the Laboratory of Functional and Evolutionary Entomology of Gembloux Agro-Bio Tech (University of Liege, Belgium). All specimens were confirmed as *T. absoluta*, based on male genitalia compared with those of *T. absoluta* samples available in the laboratory, therefore confirming the presence of the pest in Burkina Faso.

The same method was used in Tunisia (Lebdi Grissa *et al.*, 2011), Algeria (Badaoui et Berkani, 2010; Ababsia et Doumandji-Mitiche, 2014) and Iraq (Abdul-rassoul., 2014) to identify and confirm the presence of *T. absoluta* in these countries.



Source : D. Son

Figure 14 : *T. absoluta* adult.



Source : D. Son

Figure 15 : *T. absoluta* caterpillar.



Source : D. Son

Figure 16 : *T. absoluta* pupa.

The arrival of *T. absoluta* in Burkina Faso, and particularly in the northern region of the country, could be related to the import of vegetables from neighbouring affected countries. Indeed, *T. absoluta* is present in Morocco, while potato seeds of this country are often imported to Ouahigouya.

Regarding its ecological requirements (high temperatures, low humidity; tolerant to dryness) (Allache *et al.*, 2012; Tonnang *et al.*, 2015), *T. absoluta* will benefit of favourable temperatures for its development and could therefore become a major

destructive pest in Burkina Faso. It has a great potential to cause serious yield losses in the major tomato producing areas in Burkina Faso due to its rapid spread and potential damage. Moreover, the management of this pest is further complicated by its resistance to most insecticides (Siqueira *et al.*, 2000a; Siqueira *et al.*, 2000b; Siqueira *et al.*, 2001; Lietti *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011; Roditakis *et al.*, 2015; Yalcin *et al.*, 2015) much of which (indoxacarb, abamectin, deltamethrin) commonly used in Burkina Faso according to several authors. Also, the model predictions of the impact of *T. absoluta* expects a surge in crop damage by this pest in Africa because of its warm climate (Tonnang *et al.*, 2015). This could lead to additional applications of pesticides, increasing the risk of operator exposure to pesticides, environmental pollution and exceedance of pesticide residue limits on vegetables. In order to reduce the spread of this pest through transportation of infested fruits, countries (Ghana, Ivory Coast, Togo) importing tomatoes from Burkina Faso could impose quarantine restrictions on Burkinabe exports with a significant economic impact for the producers and the local economy whose production was 15,000 t in 2013 (FAOSTAT, 2016). This first record should be followed by a survey in all vegetables production area in Burkina Faso to identify as soon as possible the infested areas and to take effective control measures to protect non infested ones (e.g. transport restriction between areas). Appropriate control measures such as Integrated Pest Management (IPM) are urgently needed for effective and sustainable management of this pest in Burkina Faso.

Acknowledgements

This research was funded by the Académie de Recherche et D'enseignement Supérieur, Commission Coopération au Développement (ARES-CDD) in the framework of the “Projet de renforcement des capacités de diagnostic et de gestion intégrée des problèmes phytosanitaires au Burkina Faso” UCL-ULg-IDR/UPB.

Chapitre 5

**Détermination par piégeage de la diversité
et de l'abondance des familles d'insectes
associées à la culture de tomate (*Solanum
lycopersicum* L.) au Burkina Faso**

Détermination par piégeage de la diversité et de l'abondance des familles d'insectes associées à la culture de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) au Burkina Faso

D. Son ^{*1,2}, B.B. Yarou³, S.M Loudit Bayendi³, F. Verheggen³, F. Francis³, A. Legreve⁴, I. Somda¹ & B. Schiffers²

¹Université Nazi Boni (UNB), Institut du Développement Rural (IDR), Unité Santé des Plantes. Laboratoire Systèmes Naturels, Agrosystèmes et Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E) (Burkina Faso).

²Université de Liège (ULiège), Gembloux Agro-Bio Tech, Laboratoire de Phytopharmacie (Belgique).

³Université de Liège (ULiège), Gembloux Agro-Bio Tech, Laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive (Belgique).

⁴Université Catholique de Louvain (UCL), Faculté des bioingénieurs (Belgique).

Auteur correspondant: E-mail: soniakalia@yahoo.fr

Téléphone : +32 465 22 94 38 (Belgique) ou +226 70 31 88 38 (Burkina Faso)

Ce chapitre est une version adaptée de l'article de recherche suivant :

Son D., Yarou B.B., Bayendi S.M.L., Verheggen F., Francis F., Legreve A., Somda I., Schiffers B., 2018. Détermination par piégeage de la diversité et de l'abondance des familles d'insectes associées à la culture de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) au Burkina Faso (Article accepté dans *Entomologie Faunistique – Faunistic Entomology*)

5.1. Résumé

Au Burkina Faso, la production de tomate s'effectue dans des conditions de forte pression d'insectes ravageurs. Malheureusement, peu d'auteurs se sont intéressés à la diversité de ces insectes ni à l'évaluation de leur abondance. Dans cette étude, l'objectif était d'établir une liste des familles des insectes ravageurs et des auxiliaires capturés à l'aide de pièges à eau de couleur jaune dans les cultures de tomate au Burkina Faso. Durant les années 2015, 2016 et 2017, un inventaire de l'entomofaune a été possible grâce aux captures réalisées dans les parcelles de 12 producteurs de tomate. Au total, 1447 insectes ont été collectés et classés dans 42 familles différentes. Pour les insectes ravageurs, les principales familles représentées et classées par ordre alphabétique incluent les Aleyrodidae, les Aphididae, les Acrididae, les Agromyzidae, les Arctiidae, les Gelechiidae, les Noctuidae et les Tephritidae. Des ennemis naturels (insectes) ont aussi été retrouvés en faible abondance dans les pièges. Ils appartiennent aux familles des Coccinellidae, Ichneumonidae, Pompilidae, Reduviidae et Sphecidae. On note donc une évolution presque similaire des auxiliaires et des ravageurs dans l'ensemble des sites : les pics de population des ravageurs sont observés entre le 14^{ème} et le 28^{ème} jour après repiquage (JAR) et celui des auxiliaires entre le 28^{ème} et le 35^{ème} JAR.

Mots-clés: Tomate, ravageurs, auxiliaires, biodiversité, Burkina Faso.

5.2. Summary

In Burkina Faso, tomato production is carried out in the heavy pressure conditions of insect pests. Unfortunately, few authors were interested at the diversity of these insects or the assessment of their abundance. In this study, the objective was to establish a list of families of insect pests and auxiliaries captured using yellow water traps in tomato crops in Burkina Faso. During the years 2015, 2016 and 2017, an inventory of the entomofauna was possible thanks the catches made in the plots of 12 tomato producers. In total, 1447 insects were collected and classified in 42 different families. For the insect pests, the main families represented and listed in alphabetical order include Aleyrodidae, Aphididae, Acrididae, Agromyzidae, Arctiidae, Gelechiidae, Noctuidae and Tephritidae. Natural enemies (insects) have also been found in low abundance in traps. They belong to the families of Coccinellidae, Ichneumonidae, Pompilidae, Reduviidae and Sphecidae. We therefore note an almost similar evolution of the auxiliaries and the pests in all sites: the pest population peaks are observed between 14th and 28th day after transplanting (DAT) and that of auxiliaries between 28th and 35th DAT.

Keywords: Tomato, pests, auxiliaries, biodiversity, Burkina Faso.

5.3. Introduction

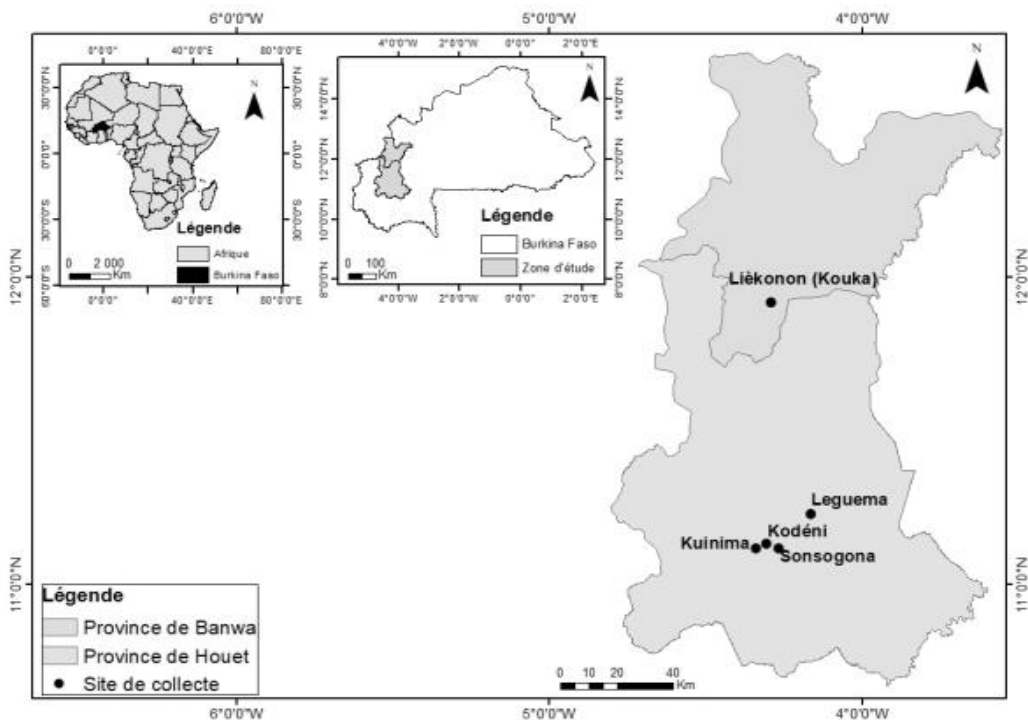
Au Burkina Faso, la culture de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) occupe la deuxième place après l'oignon avec une production de 28.9572 tonnes sur une superficie de 11.766,4 ha (MARHASA, 2014). Sa production génère de nombreux emplois et des revenus intéressants pour les habitants des zones rurales et urbaines (MAHRH, 2007). Source d'échanges commerciaux avec les pays voisins (Bénin, Côte d'Ivoire, Ghana, Togo), la tomate contribue de manière significative à la croissance économique du pays (MAHRH, 2007). Cependant, sa production est confrontée à de nombreuses contraintes biotiques et abiotiques, parmi lesquelles les attaques des insectes ravageurs (IFDC, 2007). En effet, ces ravageurs induisent des pertes allant de 50 à 100% de la récolte, conduisant les producteurs de certains sites maraîchers du pays à renoncer à la culture de la tomate (IFDC, 2007). A ce jour aucune étude n'a évalué la diversité ou l'abondance des insectes associés à la production de tomate au Burkina Faso. De plus, suite au signalement de *Tuta absoluta* M. (Lepidoptera : Gelechiidae) dans la zone nord du Burkina Faso en 2016 (Son *et al.*, 2017a), il y avait lieu de réaliser un monitoring de sa présence dans certains sites maraîchers du pays. Outre l'insuffisance d'informations publiées sur les principaux ravageurs des cultures maraîchères au Burkina Faso, peu d'études ont été menées sur les insectes prédateurs et parasitoïdes des principaux ravageurs des cultures maraîchères au Burkina Faso. Pourtant ceux-ci jouent un rôle essentiel dans le contrôle des ravageurs et permettent de réduire la fréquence d'apparition de pics de populations impliquant des dégâts économiquement dommageables (Gerling *et al.*, 2001; Kennedy, 2003; Chailleux *et al.*, 2013; Zappalà *et al.*, 2013). Cette insuffisance d'informations rend compliquée l'élaboration et la planification de stratégies raisonnées de lutte, avec l'établissement de seuils d'intervention, l'adaptation des périodes de traitements sur la base des observations et de l'atteinte des seuils économiques d'intervention et la production d'avertissements à la destination des producteurs.

Dans cette étude, il a donc été question d'établir un inventaire des familles d'insectes ravageurs et auxiliaires présentes dans les cultures de tomate dans l'Ouest du Burkina Faso.

5.4. Matériel et méthodes

5.4.1. Sites d'étude et méthodologie de collecte d'insectes

L'étude a été menée dans les sites maraîchers localisés dans les communes de Kouka (Lièkonon) et de Bobo-Dioulasso (Kuinima, Kodéni et Sonsogona) respectivement dans les provinces de Banwa et du Houet (**Figure 17**). Elle s'est déroulée dans les parcelles maraîchères de 12 producteurs de tomate. Le climat local est du type soudanien et les sols de type argilo-sableux. Les températures moyennes relevées au moyen d'un thermo-hygromètre (TFA Dostmann 30.5007 "Pocket" / Thermo-Hygrometer digital), sont de $31,3 \pm 4,0^{\circ}\text{C}$ dans la commune de Kouka et de $29,2 \pm 5,0^{\circ}\text{C}$ dans la commune de Bobo-Dioulasso.



Source : D. Son

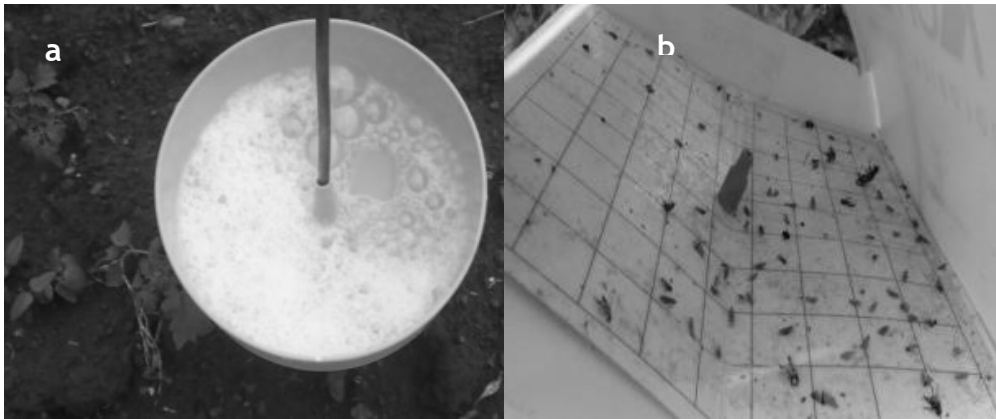
Figure 17 : Localisation des sites de collecte d'entomofaune de la tomate dans l'Ouest du Burkina Faso.

Les insectes ont été collectés hebdomadairement à l'aide des pièges jaunes à eau ("von Moericke", $\varnothing = 27$ cm, h = 10 cm) (Mignon *et al.*, 2003; Lozano *et al.*, 2012; Yattara et Francis, 2013) pendant la grande saison de production maraîchère allant de décembre à mai et durant les saisons de cultures 2015, 2016 et 2017, à raison de cinq dates d'observation par parcelle. Dans chaque parcelle d'environ 1.500 m², trois pièges jaunes ont été installés sur des piquets, à la hauteur des plantes, en triangle et à égale distance. Chaque piège a été rempli d'eau additionnée de quelques gouttes de savon liquide jusqu'à la jauge (**Figure 18a**). En périodes de fortes chaleurs, le niveau a été maintenu par des apports réguliers et l'eau a été renouvelée à chaque collecte. Les insectes récupérés dans les pièges ont été conservés dans une solution d'éthanol à 70% de concentration.

Les deux premières années de l'étude (2015 et 2016), les collectes ont été effectuées sur les sites maraîchers de Kouka et de Kuinima. En 2017, les sites de Kodéni et de Sonsogona ont été échantillonnés afin d'avoir une idée sur la répartition spatiale de l'entomofaune de la tomate dans les périmètres maraîchers. En 2015, les pièges jaunes ont été installés dans les parcelles de tomate où aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué, tandis que les années suivantes de collecte (2016 et 2017) les pièges ont été placés dans les parcelles qui ont subi des

traitements phytosanitaires pour évaluer l'impact des pesticides (souvent non sélectifs) sur les insectes bénéfiques.

Des pièges delta à glu avec la phéromone sexuelle de *Tuta absoluta* (PHERODIS *Tuta absoluta*, KOPPERT, Biological systems) (**Figure 18b**) ont également été installés de décembre 2016 à avril 2017 dans certains sites maraîchers (Kodéni, Leguema et Sonsogona) (**Figure 17**) afin d'évaluer la présence de cette mineuse de la tomate dans ces sites. Les collectes ont été hebdomadaires, à raison de neuf dates d'observation par parcelle, et les insectes récupérés dans les pièges ont été conservés dans une solution d'éthanol à 70% de concentration.



Source : D. Son

Figure 18 : Types de pièges utilisés lors de la collecte de l'entomofaune de la tomate : (a) piège jaune à eau ; (b) piège Delta avec capsule à phéromone sexuelle de *T. absoluta*.

Les insectes collectés ont été identifiés jusqu'au niveau taxonomique de la famille en se basant sur des caractères morphologiques décrits dans différentes clés de systématique entomologique (Delvare et Aberlenc, 1989; Autrique et Ntahimpera, 1994; Chinery, 2012; Dino, 2014; Mignon *et al.*, 2016) et autres ouvrages techniques (Bordat *et al.*, 2004; Poutouli *et al.*, 2011). Les insectes identifiés ont été regroupés en cinq groupes fonctionnels : ravageurs, pollinisateurs, prédateurs, parasitoïdes et divers (composé de fourmis et de certains diptères non ravageurs). Les aleurodes et les pucerons collectés, beaucoup trop abondants dans les pièges (plus de 1.000 individus), n'ont pas pu être dénombrés.

5.4.2. Analyse des données collectées

La diversité des familles d'insectes présents sur la tomate a été évaluée au moyen de trois indices: l'indice de Shannon, l'indice d'équitabilité et l'indice de Simpson. L'indice de diversité spécifique de Shannon a été calculé comme suit (Marcon, 2010) :

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right) * \ln(n_i/N)$$

Avec : n_i = nombre d'individus d'un niveau taxonomique considéré (ici la famille) ;

i = une famille présente dans le milieu, allant de 1 à S (le nombre total de familles observées), et N est l'effectif total des individus capturés dans les pièges.

Quand la valeur de H' est faible, le milieu est considéré comme pauvre en familles. Par contre, si cet indice est élevé, cela indique une grande diversité de familles dans le milieu.

L'indice d'équitabilité (E) a été calculé comme suit (Marcon, 2010) :

$E = H' / H'_{\max}$ avec $H'_{\max} = \ln S$; H'_{\max} étant la diversité maximale de Shannon et S le nombre de familles. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des familles) à 1 (équirépartition des individus dans les familles).

Enfin, l'indice de diversité de Simpson (D) qui permet de calculer la probabilité que deux individus sélectionnés aléatoirement dans un milieu donné soient de la même famille a été calculé comme suit (Marcon, 2010):

$$D = 1 - \sum \{ [n_i (n_i - 1)] / [N (N - 1)] \}$$

où n_i est le nombre d'individus dans une famille donnée et N le nombre total d'individus capturés. Cet indice varie de 0 (diversité minimum) à 1 (diversité maximum).

Les données de capture de *T. absoluta* ont été analysées par une ANOVA à un facteur après vérification de la normalité des données (Test de Shapiro-Wilk) avec le logiciel GenStat, édition 11. Par ailleurs, un test HSD Tukey de structuration de moyennes a été réalisé pour une comparaison des moyennes par paire.

5.5. Résultats

5.5.1. Abondances de l'entomofaune

Sur les trois années d'étude, 1.447 insectes ont été collectés au total dans les pièges jaunes à eau ; 571 individus soit 39,5% du total en 2015, 440 soit 30,4% en 2016 et 436 soit 30,1% en 2017. Les Hyménoptères, les Hémiptères, les Coléoptères et les Diptères sont les ordres les plus abondants (**Figure 19**). Les insectes inventoriés appartiennent à 42 familles. L'abondance relative de chaque famille est présentée dans le **Tableau 11**. Les principales familles de ravageurs de la tomate (en plus des Aleyrodidae et des Aphididae) sont les Acrididae, les Agromyzidae, les Arctiidae, les Gelechiidae, les Noctuidae et les Tephritidae.

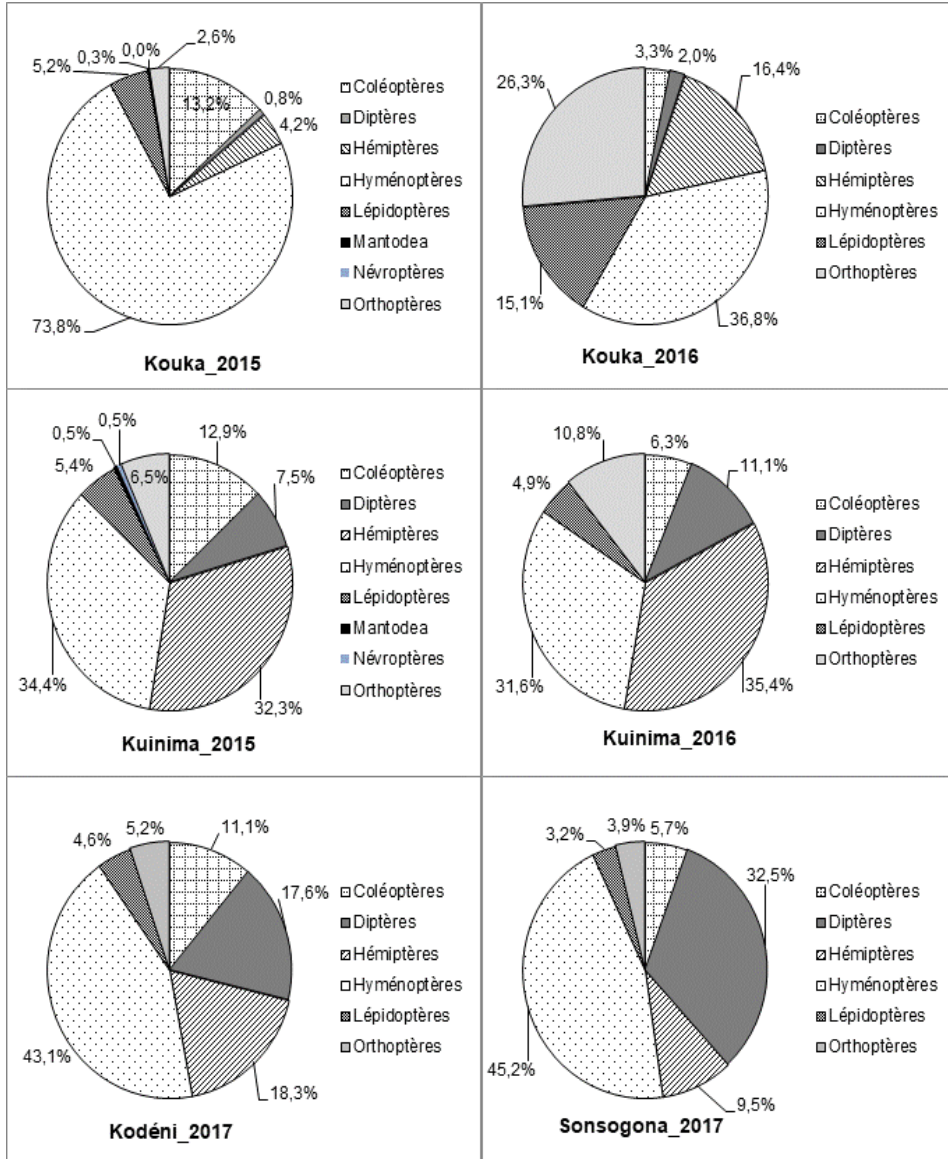


Figure 19 : Répartition des principaux ordres d'insectes collectés durant trois années (2015, 2016 et 2017) en culture de tomate pendant la grande saison de production (de décembre à mai) dans l'Ouest du Burkina Faso.

Tableau 11 : Abondances relatives des familles d'insectes collectés durant trois années (2015, 2016 et 2017) dans les champs de tomates pendant la grande saison de production (de décembre à mai) dans l'Ouest du Burkina Faso (abon = abondance ; F(%) = fréquence)

	2015						2016						2017					
	Kouka		Kuinema		Total		Kouka		Kuinema		Total		Kodéni		Sonsogona		Total	
	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)
Ravageurs	54	14	90	48	144	25	80	53	162	56	242	55	59	39	130	46	189	43
Chrysomelidae	5	1	2	1	7	1	1	1	1	0	2	0	1	1	2	1	3	1
Curculionidae	1	0	7	4	8	1	0	0	1	0	1	0	2	1	1	0	3	1
Agromyzidae	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3	8	2	7	5	82	29	89	20
Anthomyiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Diopsidae	1	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	2	0
Tephritidae	2	1	1	1	3	1	0	0	9	3	9	2	11	7	5	2	16	4
Coreidae	4	1	26	14	30	5	2	1	49	17	51	12	2	1	0	0	2	0
Lygaeidae	7	2	8	4	15	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0
Pentatomidae	4	1	7	4	11	2	13	9	7	2	20	5	6	4	11	4	17	4
Pyrrhocoridae	0	0	16	9	16	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Scutelleridae	0	0	0	0	0	0	0	0	41	14	41	9	14	9	6	2	20	5
Arctiidae	16	4	1	1	17	3	20	13	8	3	28	6	1	1	1	0	2	0
Gelechiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0
Noctuidae	4	1	9	5	13	2	3	2	6	2	9	2	6	4	6	2	12	3
Acrididae	6	2	12	6	18	3	31	20	31	11	62	14	8	5	10	4	18	4
Gryllidae	3	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pyrgomorphidae	1	0	0	0	1	0	9	6	0	0	9	2	0	0	1	0	1	0
Pollinisateurs	248	64	55	30	303	53	2	1	35	12	37	8	30	21	86	30	116	27
Andrenidae	1	0	0	0	1	0	0	0	7	2	7	2	1	1	0	0	1	0
Anthophoridae	0	0	1	1	1	0	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0
Apidae	30	8	12	6	42	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Collitidae	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	7	2	4	3	29	10	33	8
Halictidae	214	56	42	23	256	45	2	1	16	6	18	4	24	16	57	20	81	19
Megachilidae	3	1	0	0	3	1	0	0	3	1	3	1	1	1	0	0	1	0
Prédateurs	74	19	29	16	103	18	58	38	61	21	119	27	42	27	40	14	82	19

Risques liés à l'emploi de pesticides et stratégies de lutte intégrée en culture de tomate au Burkina Faso

	2015						2016						2017					
	Kouka		Kuinima		Total		Kouka		Kuinima		Total		Kodéni		Sonsogona		Total	
	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)	abon	F(%)
Coccinellidae	45	12	15	8	60	11	4	3	16	6	20	5	14	9	13	5	27	6
Asilidae	0	0	0	0	0	0	3	2	6	2	9	2	3	2	4	1	7	2
Reduviidae	1	0	3	2	4	1	9	6	5	2	14	3	6	4	8	3	14	3
Eumenidae	0	0	0	0	0	0	6	4	9	3	15	3	3	2	8	3	11	3
Pompilidae	4	1	0	0	4	1	16	11	6	2	22	5	7	5	2	1	9	2
Sphecidae	3	1	0	0	3	1	17	11	18	6	35	8	6	4	3	1	9	2
Vespidae	20	5	9	5	29	5	3	2	1	0	4	1	3	2	2	1	5	1
Hymenopodidae	1	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ascalaphidae	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parasitoïdes	6	2	0	0	6	1	11	7	22	7	33	8	17	12	27	9	44	10
Braconidae	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0
Chalcididae	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
Chrysididae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasteruptiidae	0	0	0	0	0	0	3	2	4	1	7	2	5	3	15	5	20	5
Ichneumonidae	0	0	0	0	0	0	0	0	15	5	15	3	5	3	10	4	15	3
Mutillidae	3	1	0	0	3	1	6	4	2	1	8	2	1	1	1	0	2	0
Scoliidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	1	0	5	1
Stephanidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
Divers	3	1	12	6	15	3	1	1	8	3	9	2	5	3	0	0	5	1
Stratiomyidae	0	0	12	6	12	2	0	0	8	3	8	2	5	3	0	0	5	1
Formicidae	3	1	0	0	3	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	385	100	186	100	571	100	152	100	288	100	440	100	153	100	283	100	436	100

5.5.2. Diversité entomologique des familles d'insectes capturés dans les pièges placés dans les parcelles de tomate

L'indice de diversité de Shannon montre une diversité des familles d'insectes collectées dans les champs de tomate en fonction des sites et des années de collecte (**Figure 20**). Cette diversité est la plus faible dans le site de Kouka-2015 (1,80) et la plus élevée dans le site de Kodéni-2017 (2,99). Par contre, dans tous les sites, les indices d'équitabilité et de Simpson sont sensiblement similaires, montrant une diversité maximale et une équirépartition des individus dans les diverses familles d'insectes capturés.

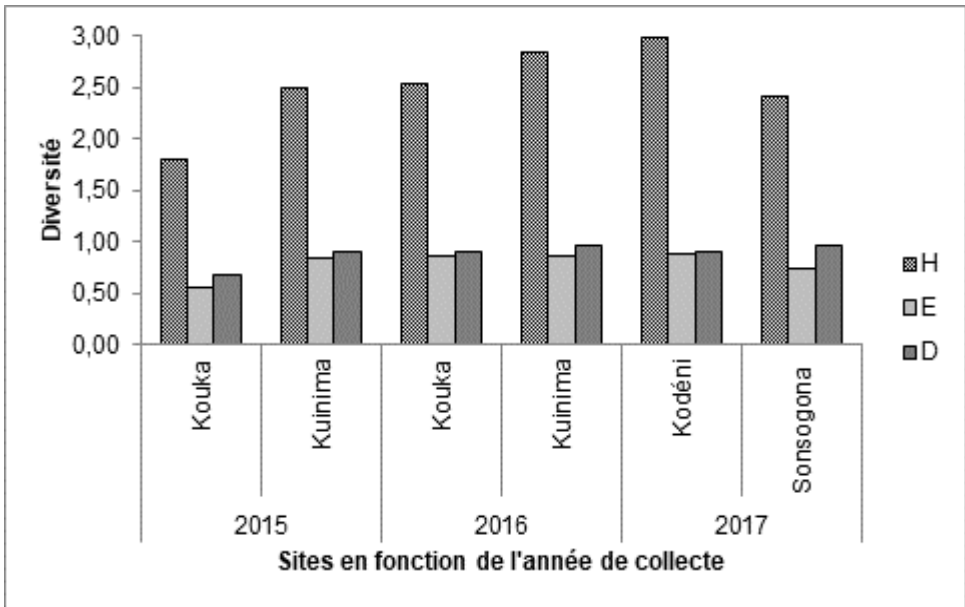


Figure 20: Indices de mesure de la diversité des familles d'insectes recensées sur culture de tomate, en fonction de l'année de collecte et des localités. H = indice de Shannon, E = indice d'équitabilité D = indice de Simpson.

5.5.3. Groupes fonctionnels des insectes collectés

La **Figure 21** montre une prédominance dans les captures des insectes pollinisateurs (53% du total) en 2015. Par contre, les ravageurs ont été les plus nombreux sur les parcelles de tomate en 2016 (55%) et en 2017 (43%). La proportion des insectes prédateurs est cependant presque identique sur les trois années.

En tenant compte des localités et des années de collectes, la répartition de ces groupes fonctionnels montre qu'à l'exception du site de Kouka dominé par la présence des pollinisateurs en 2015, les ravageurs constituent le groupe le plus important sur tous les sites quelle que soit l'année de collecte (**Figure 22**).

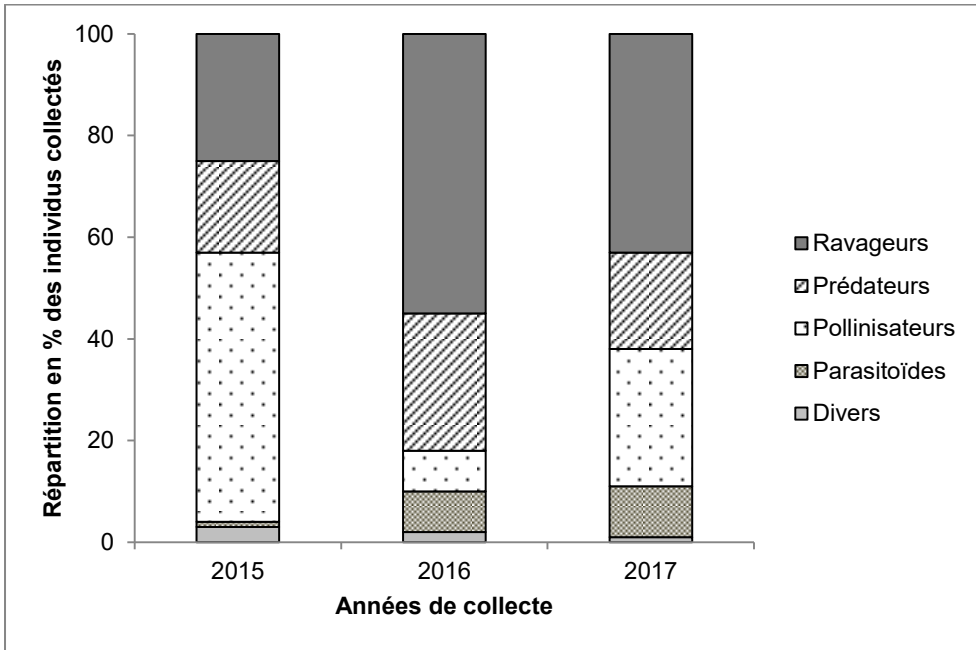


Figure 21: Répartition des différents groupes fonctionnels parmi les insectes collectés dans les champs de tomate dans l'Ouest du Burkina Faso en fonction de l'année de collecte.

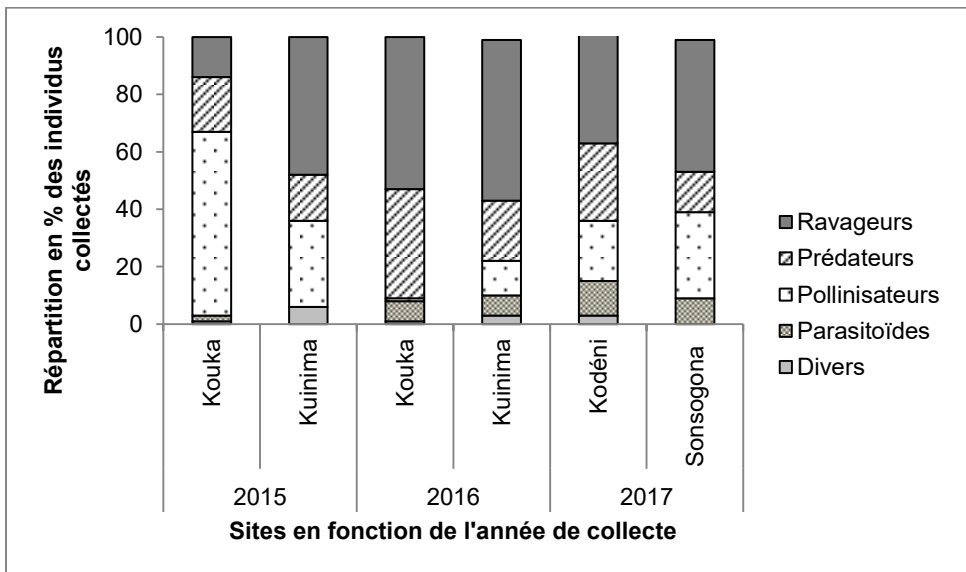


Figure 22: Répartition des différents groupes fonctionnels parmi les insectes collectés dans les champs de tomates dans l'Ouest du Burkina Faso en fonction des sites et de l'année de collecte.

5.5.4. Dynamique des ravageurs et auxiliaires collectés dans les champs de tomate

La **Figure 23** montre l'évolution des ravageurs et auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes) dans les pièges jaunes à eau en fonction du temps.

Dans le site de Kouka, les ravageurs ont atteint leur pic de population au 21^{ème} jour après repiquage (JAR) en 2015 et au 14^{ème} JAR en 2016. Tandis que le pic de population des prédateurs a été observé au 28^{ème} JAR, en 2015 comme en 2016. Par ailleurs, leur nombre est resté supérieur à celui des ravageurs (hors comptage des pucerons et aleurodes) durant toutes les périodes d'observation en 2015. En ce qui concerne les parasitoïdes, ils ont été observés en faibles effectifs en 2015 et 2016.

Au niveau du site de Kuinima, les ravageurs ont atteint leur pic de population au 28^{ème} JAR en 2015 et au 14^{ème} JAR en 2016, année au cours de laquelle leur nombre est resté supérieur à celui des auxiliaires durant toute la période d'observation. La population des prédateurs a évolué de manière disparate jusqu'au 35^{ème} JAR en 2015 avant de connaître une baisse jusqu'à la fin des observations. Leur pic de population a été observé au 35^{ème} JAR en 2015 et au 21^{ème} JAR en 2016. Aucun parasitoïde n'a été collecté en 2015. En 2016, le pic de population a été observé au 28^{ème} JAR.

Dans le site de Kodéni, les pics de population des ravageurs et des parasitoïdes ont été atteints au 14^{ème} JAR, alors que celui des prédateurs n'a été observé qu'au 35^{ème} JAR.

Au niveau du site de Sonsogona, les ravageurs ont atteint leur pic de population au 21^{ème} JAR avant de connaître une baisse. Tout comme les prédateurs, deux pics de population ont été observés pour les parasitoïdes au 14^{ème} et 35^{ème} JAR.

On note donc une évolution presque similaire des auxiliaires et des ravageurs dans l'ensemble des sites : les pics de population des ravageurs sont observés entre le 14^{ème} et le 28^{ème} JAR et celui des auxiliaires entre le 28^{ème} et le 35^{ème} JAR.

Parmi les ravageurs de la tomate, les familles les plus observées du 14^{ème} au 28^{ème} JAR, sont les Acrididae, les Agromyzidae et les Cicadellidae. Du 28^{ème} au 42^{ème} JAR, ce sont les familles des Gelechiidae, des Noctuidae et des Tephritidae. Quant aux prédateurs et parasitoïdes, les familles les plus observées du 14^{ème} au 28^{ème} JAR sont les Coccinellidae, les Ichneumonidae, les Reduviidae et les Sphecidae. Du 28 au 42^{ème} JAR, ce sont les familles des Asilidae, des Pompilidae et des Reduviidae qui ont été dominantes.

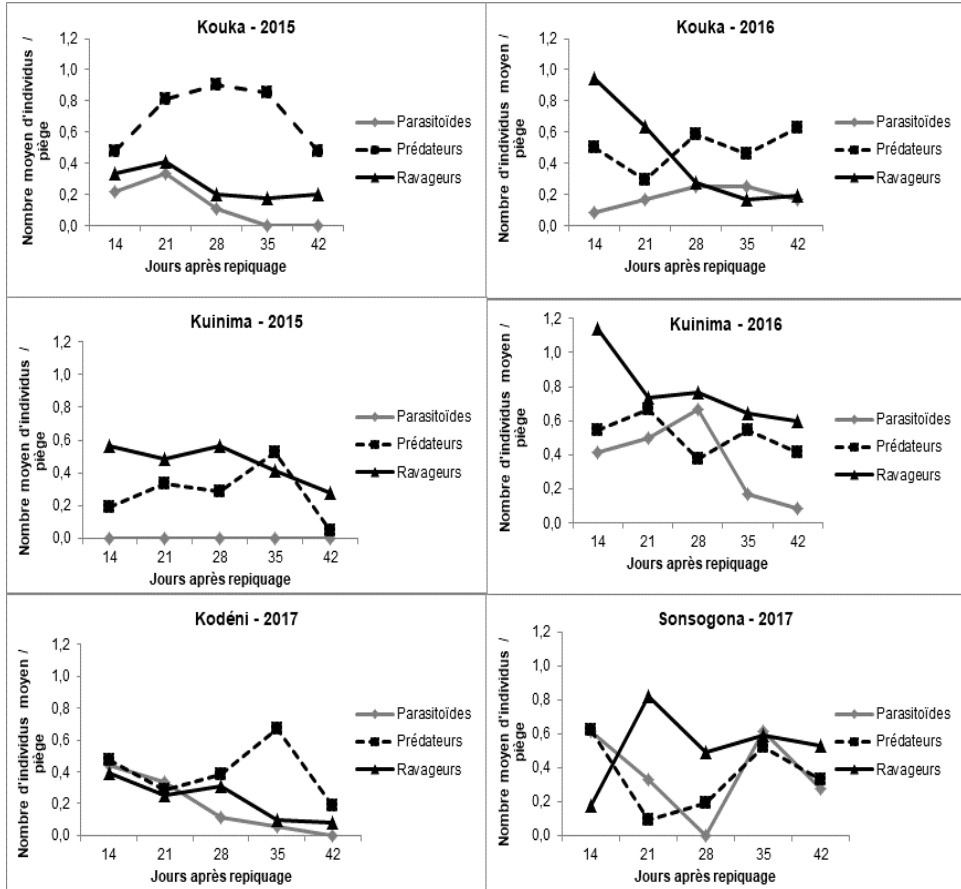


Figure 23: Dynamique des ravageurs, des prédateurs et des parasitoïdes observés dans les champs de tomate dans l'Ouest du Burkina Faso en fonction du temps.

5.5.5. Surveillance spécifique de *Tuta absoluta*

Le Tableau 12 donne la répartition des populations de *Tuta absoluta* par site. Aucune différence significative ($F = 1,72$; $p = 0,19$; $ddl = 3$) n'a été observée entre les sites. Les valeurs les plus élevées ont été observées dans les sites de Leguema (169 individus capturés) et de Sonsogona (170 individus capturés). En ce qui concerne l'évolution de ses populations en fonction des dates d'observation (Figure 24), une évolution croissante est constatée depuis le début des observations jusqu'au 28^{ème} JAR dans tous les sites. Après cette date, la population diminue jusqu'à la fin des observations. Par ailleurs, deux pics majeurs de population ont été observés (28^{ème} et 42^{ème} JAR).

Tableau 12: Evolution du nombre moyen par sites des populations de *Tuta absoluta*.

Sites d'observation	Total	Nombre d'observation	Moyennes / sites (\pm écarts types)
Kodéni	130	9	14,44 \pm 7,44
Kuinima	156	9	17,33 \pm 8,35
Leguema	169	9	18,78 \pm 10,92
Sonsogona	170	9	18,89 \pm 10,36
Signification			F = 1,72 P = 0,19 ddl = 3

F =valeur de Fisher ; P = probabilité ; ddl = degré de liberté

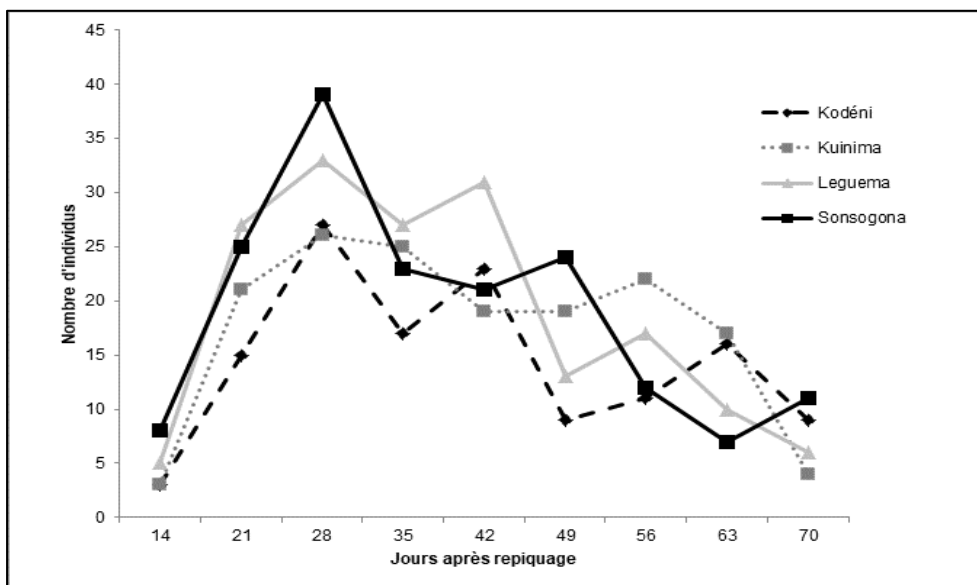


Figure 24 : Evolution de *Tuta absoluta* dans les champs de tomates en fonction du temps.

5.6. Discussion

Huit familles d'insectes nuisibles (Acrididae, Agromyzidae, Aleyrodidae, Aphididae, Arctiidae, Gelechiidae, Noctuidae et Tephritidae) ont été observées dans les parcelles de tomate de l'Ouest du Burkina Faso. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus au Bénin (Chougourou *et al.*, 2012), au Nigeria (Mailafiya *et al.*, 2014) et au Ghana (Ofori *et al.*, 2014) qui montrent que la culture de tomate abrite une multitude d'insectes ravageurs appartenant à diverses familles. Parmi ces familles, les plus inféodées à la culture de la tomate sont les Agromyzidae, Aleyrodidae, les Aphididae, les Gelechiidae et les Noctuidae (James *et al.*, 2010; Schiffers, 2011; Mailafiya *et al.*, 2014; Ofori *et al.*, 2014). La majorité de ces ravageurs sont présents

au stade végétatif de la plante et affectent gravement sa bonne croissance et son développement.

Les résultats démontrent également qu'à côté des ravageurs, beaucoup d'insectes utiles (pollinisateurs, prédateurs et parasitoïdes) cohabitent dans la culture de tomate. A commencer par les insectes pollinisateurs qui jouent un rôle primordial pour la productivité (Klein *et al.*, 2007). Quant aux auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes), leur présence contribue significativement à la diminution des effectifs des populations de ravageurs, réduisant ainsi le besoin d'intervenir pour maîtriser leur développement (Gerling *et al.*, 2001; Chailleux *et al.*, 2013; Zappalà *et al.*, 2013). En termes de diversité, les indices d'équitabilité et de Simpson montrent une diversité maximale des familles d'insectes capturés, mais entre les sites, ces deux indices sont sensiblement les mêmes.

En 2015, plus d'insectes bénéfiques ont été collectés que les deux dernières années de collecte (2016 et 2017). Cela pourrait s'expliquer par le recours répété des producteurs aux pesticides non sélectifs qui ont dû nuire à la survie et au développement d'insectes utiles. Ainsi, dans l'île de La Réunion (France), Ryckewaert & Fabre (2001) avaient observé une augmentation des populations d'aleurodes et des mouches mineuses sur une culture de tomate traitée avec des pesticides comparativement à celle non traitée. Selon ces auteurs, les taux de parasitisme dépassaient les 80% sur la parcelle sans traitement alors qu'ils atteignaient à peine 40% sur la parcelle traitée. Cela démontre l'intérêt de protéger les insectes auxiliaires, tout d'abord en identifiant les mesures culturales et d'aménagement du territoire favorisant leur installation, leur maintien et leur développement et ensuite, en cas de recours aux traitements phytosanitaires, par une gestion raisonnée et raisonnable de ces derniers.

D'après nos observations, les captures ont été plus importantes pendant les phases développement-fructification de la tomate avant de connaître une réduction jusqu'à la fin du cycle complet de la tomate. Un même constat a été effectué par Ofori *et al.* (2014) et Son *et al.* (2016). La baisse de la prolifération des ravageurs à partir du 28^{ème} JAR pourrait s'expliquer par l'intervention des insectes auxiliaires, dont le pic de population survient au 28^{ème} JAR, qui ont pu limiter le taux de croissance de certains ravageurs à travers des mécanismes de parasitisme et de prédation (Ofori *et al.*, 2014).

Il ressort également de cet inventaire que *T. absoluta*, déjà signalé au Nord du pays (Son *et al.*, 2017a) et qui est un organisme nuisible réglementé en Europe (OEPP, 2005), est présent aussi dans l'Ouest du Burkina Faso. Le nombre moyen d'adultes de *T. absoluta* capturés dans cette étude reste supérieur à celui enregistré en 2001 (10 individus) au Venezuela (Salas, 2007), mais inférieur par rapport à ceux enregistrés au mois de mars (30 individus) et d'avril (110 individus) en Algérie (Allache *et al.*, 2012). Plus significatif, les captures réalisées dans les sites maraîchers du Burkina Faso sont largement inférieures à celles enregistrées dans les sites de Mbour et au Sud des Niayes au Sénégal où la plus faible moyenne des captures était de 50 individus (Sylla *et al.*, 2015). En ce qui concerne l'évolution de *T. absoluta* en fonction du cycle cultural de la tomate, l'étude indique une baisse de la population vers la fin du cycle de production contrairement aux observations de

Allache *et al.* (2012) en Algérie, qui signalent une croissance du nombre d'individus en fin de cycle de production.

Il faut noter que, selon la littérature (Bloem & Spaltenstein, 2011; Wyckhuys *et al.*, 2013; Sylla *et al.*, 2015), cette mineuse de la tomate s'attaque également à d'autres Solanacées citées dans la littérature : pomme de terre (*Solanum tuberosum* Linnaeus), aubergine (*Solanum melongena* Linnaeus), poivron (*Capsicum annum* Linnaeus). Sa présence constitue donc une problématique pour la culture des solanacées en général, et de la tomate en particulier, car les dégâts peuvent atteindre 100% de perte de rendement (OEPP, 2005; Bloem & Spaltenstein, 2011; Wyckhuys *et al.*, 2013). Il apparaît donc que, la gestion de ce ravageur est compliquée vu sa résistance à la plupart des insecticides aujourd'hui sur le marché (Siqueira *et al.*, 2000, 2001; Lietti *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011), dont une bonne partie (indoxacarbe, abamectine, deltaméthrine) employés couramment au Burkina Faso (Lehmann *et al.*, 2016; Son *et al.*, 2017b). Par conséquent, les prédictions du modèle d'impact de *T. absoluta* vont dans le sens d'une augmentation des dommages aux cultures par ce ravageur en Afrique en raison du climat chaud (Tonnang *et al.*, 2015). Il faut donc s'attendre dans un proche avenir à des applications encore accrues de pesticides, augmentant le risque de résistance des ravageurs, d'exposition des producteurs, de pollution de l'environnement, et à des dépassements encore plus fréquents des limites maximales de résidus de pesticides (LMR) recommandées par le *Codex Alimentarius* sur les légumes.

5.7. Conclusion

La contrainte principale à laquelle est confrontée la production de la tomate au Burkina Faso est la forte pression parasitaire engendrée essentiellement par les populations d'insectes ravageurs. Malheureusement, il existe une pénurie d'information concernant l'abondance, la diversité et la dynamique de développement de ces insectes nuisibles. Les résultats de l'étude menée dans les périmètres maraîchers constituent une première base de données importante sur les principales familles d'insectes ravageurs et auxiliaires de la tomate au Burkina Faso. Néanmoins, des études approfondies sont nécessaires sur les principales espèces afin d'adapter les schémas de protection des cultures en fonction des ravageurs et des auxiliaires effectivement présents et de leurs évolutions respectives. Dans le cas de *T. absoluta*, il serait nécessaire de suivre sa progression à l'échelle du Burkina Faso, d'étudier la dynamique de ses populations dans les différents bassins maraîchers du pays, de recenser les plantes hôtes qui permettent son maintien et la multiplication de ses populations et d'identifier si possible ses ennemis naturels indigènes.

5.8. Remerciements

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de ARES-CDD (Projet PIC «Renforcement des capacités de diagnostic et de gestion intégrée des problèmes phytosanitaires au Burkina Faso », UCL-ULg-IDR / UNB).

Partie III : Pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs et risques liés à l'usage des pesticides en culture de tomate au Burkina Faso

Introduction sur les pratiques phytosanitaires des producteurs et risques liés à l'usage des pesticides en culture de tomate au Burkina Faso

Aux chapitres IV et V, l'inventaire de l'entomofaune de la tomate, montre que la culture de la tomate au Burkina Faso est confrontée à une diversité importante de bioagresseurs dont les principales familles sont les Aleyrodidae, les Aphididae, les Acrididae, les Agromyzidae, les Arctiidae, les Gelechiidae, les Noctuidae et les Tephritidae. Pour protéger leurs cultures et faire face aux exigences de plus en plus croissantes de la population en matière de qualité des fruits (fruits non perforés), les producteurs ont recours à une application excessive de produits phytosanitaires. Ce qui pourrait avoir des effets néfastes sur la santé des producteurs et des consommateurs, ainsi que sur l'environnement.

Cette partie de la thèse décrit d'une part les pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs et d'autre part, les risques potentiels induits par l'emploi intensif des pesticides sur la santé humaine et sur l'environnement en production de tomate au Burkina Faso.

Le risque de contamination des consommateurs et des sols sera développé dans le chapitre portant sur les stratégies de lutte intégrée en comparaison avec les pratiques paysannes.

Chapitre 6

Pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs de tomate au Burkina Faso

Pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs de tomate au Burkina Faso

D. Son^{1,2*}, **I. Somda**¹, **A. Legreve**³ & **B. Schiffers**²

¹*Phytopathology, Institute of Rural Development, Polytechnic University of Bobo-Dioulasso, Sise à Nasso, 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso*

²*Phytopharmacy, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liège, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgium*

³*Phytopathology, Earth and Life Institute, Faculté des Bioingénieurs, Catholic University of Louvain, Croix du Sud, 2 bte L7.05.03 B-1348-Louvain-la-Neuve, Belgium*

Ce chapitre est une version adaptée de l'article de recherche suivant :

Son D., Somda I., Legreve A., Schiffers B., 2017. Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement. (Publié dans *Cah. Agric.* 26, 25005. DOI: 10.1051/cagri/2017010)

6.1. Résumé

Pour évaluer les pratiques agricoles et phytosanitaires des maraîchers de tomates du Burkina Faso, des enquêtes ont été réalisées en 2015 et 2016 auprès de 316 producteurs dans les zones Ouest et Nord du pays. Seuls 9 % d'entre eux ont reçu une formation en protection des végétaux. En termes de pratiques agricoles, on note une forte densité de repiquage des plantes et un excès de fertilisation minérale. 90 % des pesticides utilisés sont achetés sur les marchés locaux sans garantie de conformité et de qualité. La lambda-cyhalothrine de la famille des pyréthriinoïdes est la substance active la plus utilisée. L'utilisation sur tomate des pesticides formulés pour le coton a fortement progressé entre 2015 et 2016 (71 %). Les doses utilisées par les producteurs sont supérieures à celles recommandées. Plus de 70 % des maraîchers n'observent aucune mesure de protection adéquate depuis la préparation de la bouillie jusqu'à la fin des traitements. Le respect de délais sans traitement avant récolte dépend plus de l'état sanitaire des parcelles que des recommandations. Les contenants vides sont abandonnés sur les lieux de traitement par 53 % des répondants. Les pratiques phytosanitaires des maraîchers du Burkina Faso sont donc préoccupantes et potentiellement nuisibles pour la santé des agriculteurs et des consommateurs, et pour l'environnement.

Mots clés : cultures maraîchères ; tomate ; pesticide ; pratiques agricoles ; pratiques phytosanitaires ; risques chimiques

6.2. Abstract

To assess the agricultural and phytosanitary practices of tomato growers in Burkina Faso, surveys were carried out in 2015 and 2016 among 316 producers in the West and North zones of the country. Only 9% of producers were received training in plant protection. In terms of agricultural practices, we noted a high density of plant transplanting and an excess of mineral fertilization. 90 % of pesticides used by producers are purchased in local markets without guarantee of conformity or quality. Lambda-cyhalothrin of the pyrethroids family was the most used active substance. Cotton pesticides used in tomato crops increased sharply between 2015 and 2016 (71 %). The doses used by producers are higher than the recommended ones. More than 70% of the market gardeners do not observe any measure of adequate protection from the preparation of the mixture until the end of the treatments. The respect of preharvest interval depends mostly of the crop health status and does not follow the recommendations. Empty containers of pesticides are left in fields by 53% of the farmers. These results show that the phytosanitary practices of tomato producers are unsuitable and potentially harmful to the health of farmers and consumers and to the environment.

Keywords: market gardening ; tomato ; pesticides ; agricultural practices ; phytosanitary practices ; chemical risks

6.3. Introduction

Au Burkina Faso, la tomate est la deuxième plus importante culture maraîchère, après l'oignon, avec une production estimée à plus de 10.000 tonnes en 2014 (FAOSTAT, 2016). Cependant, au cours de ces dernières années, on a assisté à une baisse des rendements passés de 11,3 tonnes/ha en 2010 à 9,7 tonnes/ha en 2014 (FAOSTAT, 2016). Ces baisses de rendements sont principalement dues à un complexe de bioagresseurs dont les principaux sont *Ralstonia solanacearum* Smith, *Fusarium oxysporum* Scheldtl, *Bemisia tabaci* (Genn.), *Helicoverpa armigera* (Hub.) et *Tuta absoluta* (Meyrick).

Pour faire face à ces bioagresseurs, l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse est la solution la plus utilisée. Cependant plusieurs études au Burkina Faso (IFDC, 2007; Toé, 2010; Naré *et al.*, 2015) ont souligné l'existence de mauvaises pratiques phytosanitaires : non-respect des doses prescrites, non-respect des règles de protection et d'hygiène conseillées lors des traitements, mauvaise gestion des emballages vides des pesticides. Les conséquences en sont l'intoxication des agriculteurs et des consommateurs, la pollution de l'environnement et la sélection de souches de bioagresseurs résistantes aux pesticides (Cissé *et al.*, 2006; Ahouangninou *et al.*, 2011; Ngom *et al.*, 2012; Gnankiné *et al.*, 2013; Roditakis *et al.*, 2015; Lehmann *et al.*, 2016a).

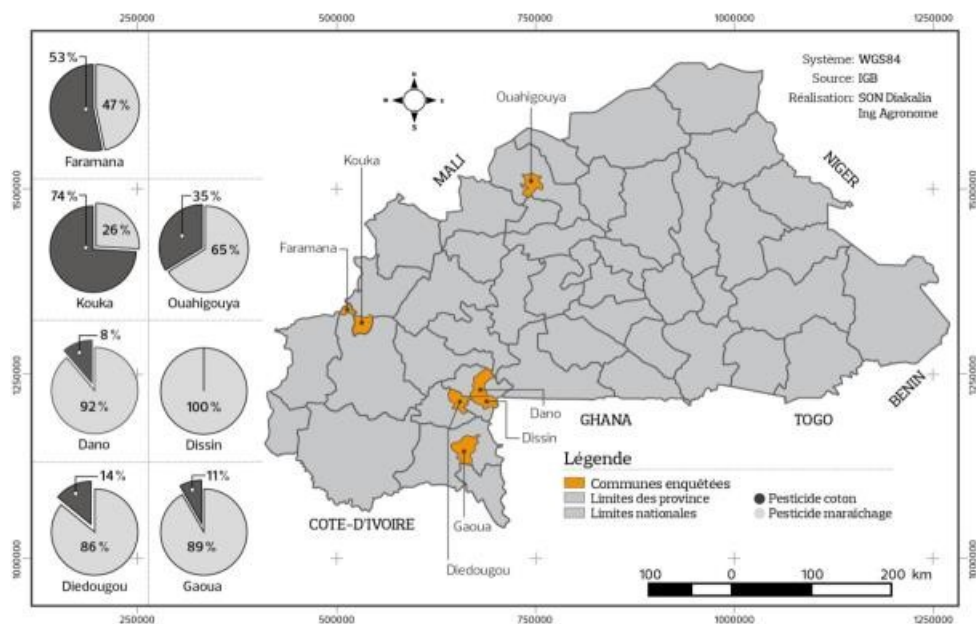
Au regard de l'extension au Burkina Faso des surfaces cultivées en tomate et de l'intensification de la production, il se justifie donc de s'intéresser de plus près aux pratiques agricoles et phytosanitaires des maraîchers de cette culture. C'est dans ce contexte que des enquêtes ont été menées en 2015 et 2016 auprès des producteurs de tomate dans sept communes parmi les régions les plus productives. L'objectif de ces enquêtes était d'une part, d'étudier les pratiques agricoles usuelles pour mieux comprendre les relations entre celles-ci et la pression des bioagresseurs sur la culture, et d'autre part, de caractériser les pratiques phytosanitaires (méthodes de lutte, produits employés, fréquence d'application, gestion des pesticides et de leurs emballages) afin d'évaluer les risques potentiels induits par l'emploi des pesticides sur la santé humaine et sur l'environnement en production de tomate au Burkina Faso. Cet inventaire était un préalable indispensable pour pouvoir ultérieurement identifier la nature et l'origine des risques et proposer des mesures appropriées de réduction de ces risques.

6.4. Méthodologie d'enquête

L'enquête a été menée dans sept communes (Faramana, Kouka, Dano, Dissin, Diébougou, Gaoua et Ouahigouya) (**Figure 25**), auprès de 316 producteurs de tomate choisis de façon aléatoire sur 21 sites. Deux critères ont guidé le choix des sites d'étude : l'importance du site dans la production nationale de tomate et son emplacement géographique (la proximité avec les frontières pouvant faciliter l'introduction frauduleuse de pesticides non autorisés au Burkina Faso). L'étude a été conduite en 2015 et 2016 pendant la grande période de production maraîchère qui va de novembre à avril (saison sèche). Les entretiens avec les producteurs ont

porté, sur leur niveau d’instruction, les cultures pratiquées, leurs pratiques agricoles, les principaux problèmes phytosanitaires rencontrés, les méthodes de lutte utilisées, les produits phytosanitaires utilisés, le dosage, les moyens de protection utilisés, la gestion des emballages et leurs connaissances du risque chimique.

Les données collectées ont été saisies à l'aide du logiciel Excel et et traitées avec le logiciel IBM SPSS.23.



Source : D. Son

Figure 25 : Répartition spatiale des sept communes d’enquêtes et taux d’utilisation des pesticides adaptés au coton en maraîchage en 2015 et 2016.

6.5. Résultats

6.5.1. Caractéristiques sociodémographiques des producteurs de tomate

Les producteurs de tomate rencontrés au cours de ces deux années d’enquête sont en grande majorité des hommes (92%) âgés de 20 à 50 ans. 72% d’entre eux n’ont reçu aucune instruction et seulement 9% ont reçu une formation en protection des végétaux (Tableau 13). Plus de 65% des enquêtés ont déclaré n’avoir reçu aucun appui-conseil de la part des agents de vulgarisation agricole dans le domaine du maraîchage.

Tableau 13 : Statut social des producteurs de tomate au Burkina Faso (enquête réalisée dans sept communes : Faramana, Kouka, Dano, Dissin, Diébougou, Gaoua et Ouahigouya) en 2015 et 2016.

	Statut social des producteurs de tomate	Valeurs en pourcentage (%)
Sexe	Homme	92
	Femme	8
	Aucune	72
Niveau d'instruction	Primaire	21
	Secondaire	7
Formation en protection des végétaux	Aucun	91
	Oui	9

6.5.2. Pratiques culturales des producteurs de tomate

Dans les zones enquêtées, les superficies exploitées par les maraîchers en tomate varient dans la plupart des cas entre 0,01 ha et 0,15 ha ($48\% \pm 15\%$). Les variétés de tomate les plus cultivées au Burkina Faso sont les cv Tropimech ($31\% \pm 20\%$), cv Petomech ($27\% \pm 31\%$) et cv Rio-grande ($19\% \pm 18\%$). Ces variétés sont originaires de France et fort sensibles aux ravageurs locaux. Les densités de semis et de repiquages sont assez variables d'un producteur à l'autre. Elles atteignent en moyenne 62.500 plantes/ha (soit 40cm entre les lignes et 40cm entre les poquets).

En termes d'associations culturales avec la tomate, le maïs est le choix dominant des producteurs ($56\% \pm 23\%$). Ils expliquent ce choix en indiquant que les plantes de maïs, en plus de jouer le rôle de brise-vents, servent également à protéger les plantes de tomate contre les coups de soleil. Les successions culturales qui sont pratiquées avec la tomate sont : le coton, le maïs ou l'oignon dans les communes de Faramana et Kouka ; le maïs, le sorgho, la pomme de terre ou l'oignon dans la commune de Ouahigouya ; enfin le chou ou l'aubergine dans les communes de Dano, Dissin, Diébougou et Gaoua. Pour la fertilisation des cultures, les engrais minéraux ($98\% \pm 15\%$) composés de NPK 14-23-14 (14% d'azote, 23% de P2O5 et de 14% de K2O) et de l'urée (46% d'azote) sont les plus utilisés. Les doses moyennes apportées par les producteurs pour une superficie comprise entre 0,10 et 0,15 ha sont de 100 kg de NPK et de 47 kg d'urée.

6.5.3. Pression des bioagresseurs et des facteurs abiotiques sur la tomate

Les principaux ravageurs de la tomate signalés par les producteurs ou constatés sur les sites d'enquête sont *Helicoverpa armigera*, *Tuta absoluta*, *Bemisia tabaci*, *Tetranychus urticae* Koch, *Aculopslycopersici* Masee et *Meloidogyne* sp. Les principales maladies sont la fusariose, l'alternariose, le flétrissement bactérien, les fontes de semis et le virus responsable de l'enroulement des feuilles (*Tomato Yellow Leaf Curl Virus*). De plus, la nécrose apicale causée, soit par une carence en

calcium, soit par stress hydrique (mauvaise répartition des irrigations), est fréquemment observée chez les producteurs (45%), avec un impact sur la qualité des fruits.

6.5.4. Pratiques phytosanitaires observées et risque pour la santé et l'environnement

Pour lutter contre ces bioagresseurs, la lutte chimique au moyen des pesticides de synthèse, est la plus pratiquée par les producteurs. Ils achètent ces produits sur les marchés locaux et 90% des pesticides utilisés sont ainsi achetés sans garantie de conformité et de qualité. Les substances actives les plus utilisées (**Tableau 14**) au cours de ces enquêtes sont la lambda-cyhalothrine (67%), l'acétamipride (50%) et la cyperméthrine (37%). Parmi les familles chimiques, les plus utilisées sont les Pyréthriinoïdes (62,5%) et les Organophosphorés (37,5%). Les biopesticides sont faiblement utilisés (5%). Le taux d'utilisation sur culture de tomate de pesticides normalement réservés au coton était de 35% en 2015 et de 60% en 2016, soit une progression de 71%. Ces insecticides coton sont plus fréquemment recensés dans les communes de Faramana et de Kouka (**Figure 25**) qui sont situés dans les grandes zones de production cotonnière des Hauts-Bassins et de la Boucle du Mouhoun.

Tableau 14 : Types de pesticides utilisés par les producteurs de tomate dans sept communes du Burkina Faso (Faramana, Kouka, Dano, Dissin, Diébougou, Gaoua et Ouahigouya) en 2015 et 2016.

	Statut des pesticides utilisés	Valeurs en pourcentage (%)
Substances actives les plus utilisées	Lambda-cyhalothrine	67
	Acétamipride	50
	Cyperméthrine	37
	Profénofos	25
	Pyréthriinoïde	63
Familles chimiques les plus utilisées	Organophosphoré	38
	Néonicotinoïde	21

Le dosage, la préparation et l'application des pesticides sont réalisés soit par les propriétaires des parcelles (78%), soit par leurs enfants (7%), soit par leurs employés (14,5%). Les femmes qui réalisent des traitements phytosanitaires ne représentent que 0,5% du total et principalement dans les communes de Faramana et de Kouka. Les doses de pesticides sont mesurées à l'aide des bouchons des emballages et cela de façon approximative, surtout en ce qui concerne les formulations en poudre (WP) qui nécessiteraient une pesée. Par conséquent, les dosages varient fortement d'un maraîcher à un autre, d'un traitement à un autre et sont dans la majorité des cas supérieurs à la dose recommandée sur l'étiquette. En moyenne, 26% des producteurs mélangent plusieurs préparations commerciales pour obtenir des mélanges qui leur

conviennent. 21% conservent leurs préparations pendant plusieurs jours pour effectuer des traitements successifs ; à chaque application, une petite quantité de la préparation est diluée à nouveau avant de traiter. Par ailleurs, 35% des producteurs reconditionnent leurs produits dans un autre contenant (**Figure 26**).

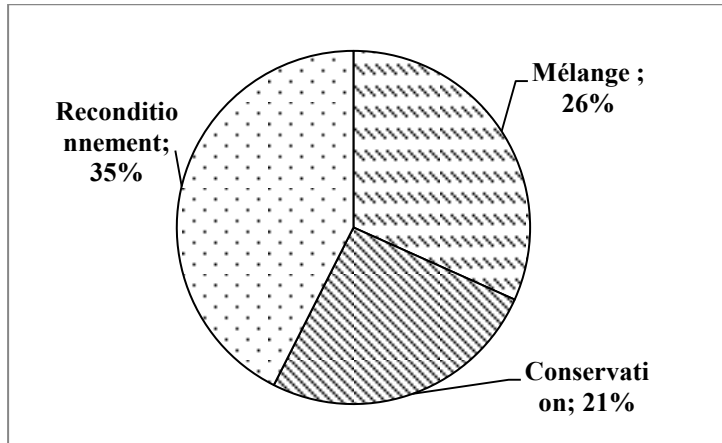


Figure 26 : Proportion des producteurs de tomate conservant leurs bouillies et pratiquant le reconditionnement des pesticides dans les sept communes étudiées en 2015 et 2016 au Burkina Faso.

Les emballages vides sont le plus souvent abandonnés sur les lieux du traitement (53%), parfois jetés, enfouis dans le sol ou brûlés à l'air libre (**Figure 27**). Les fréquences d'application varient d'un producteur à un autre mais dans la majorité des cas elles sont d'une fois par semaine. Le nombre moyen de traitements effectués par cycle de production de tomate est de dix.

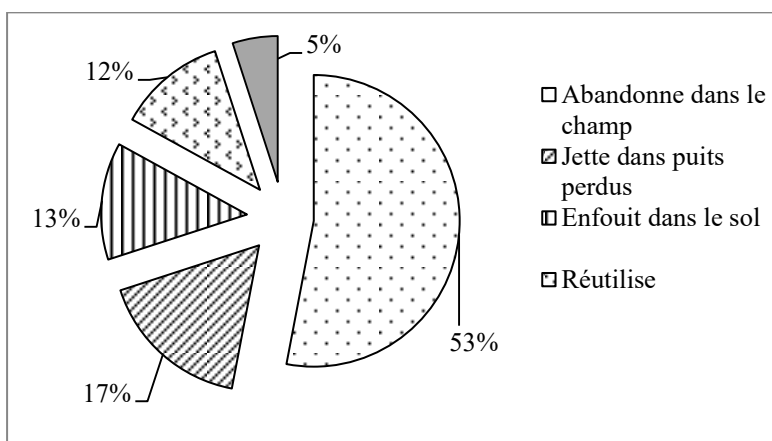


Figure 27 : Modes de gestion des emballages vides de pesticides par les producteurs de tomate dans les sept communes étudiées en 2015 et 2016 au Burkina Faso.

Les Equipements de Protection Individuelle (EPI) se limitent au port de tenues ordinaires perméables aux pesticides (**Figure 28**). Ces tenues sont composées d'un pantalon ou d'une culotte ordinaires et d'une chemise à manches longues ou courtes. Les principaux arguments avancés pour justifier cette "non protection adéquate" sont la non disponibilité des EPI conformes, le coût d'achat trop élevé de ces EPI et la gêne (du fait de la chaleur) occasionnée par le port de ces équipements de protection pendant l'application.

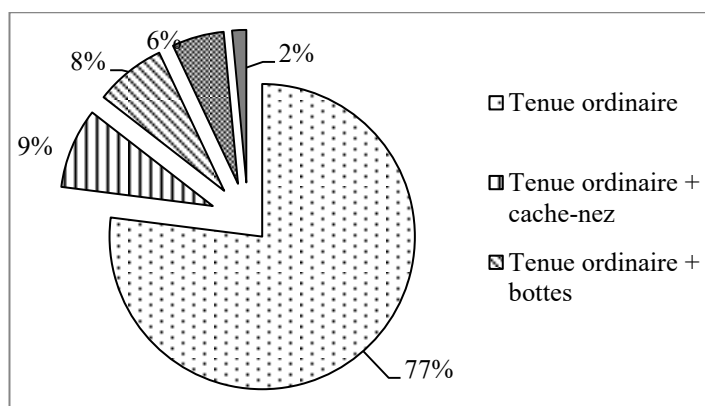


Figure 28 : Proportion des producteurs de tomate portant des équipements de protection individuelle (EPI) dans les sept communes étudiées en 2015 et 2016 au Burkina Faso.

La plupart des producteurs rencontrés ont rapporté avoir ressenti, après utilisation des pesticides, des effets des traitements sur leur santé tels que des irritations de la peau (26%), des bouffées de chaleur (19%), des écoulements du nez et une toux (15%), les affections oculaires (8%) et les céphalées (4%) (**Figure 29**). Pour lutter contre ces effets néfastes ou pour éviter d'éventuels effets secondaires, plus de 60% des enquêtés déclarent boire du lait après les traitements afin de se désintoxiquer.

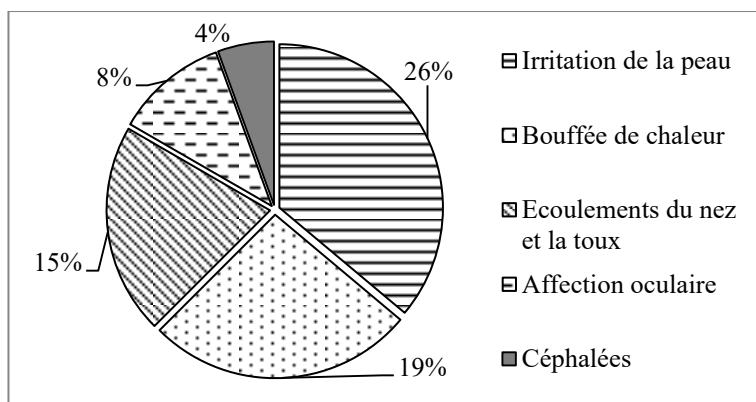


Figure 29 : Nature des affections ressenties par les producteurs interrogés après l'application des pesticides dans les sept communes étudiées en 2015 et 2016 au Burkina Faso.

En ce qui concerne le Délai Avant la Récolte (DAR), intervalle de temps entre le dernier traitement autorisé et la récolte, son respect varie d'un producteur à un autre et est plus lié à l'état sanitaire des fruits à ce moment-là (absence de ravageurs) qu'aux recommandations d'emploi du produit phytosanitaire. Par exemple le DAR pour l'insecticide TITAN 25 EC est de 7 à 15 jours, alors qu'il varie de 3 à 7 jours chez 53% des maraîchers.

6.6. Discussion

6.6.1. *Influence des pratiques culturales des producteurs de tomate sur la prolifération des bioagresseurs et la qualité des tomates*

L'observation des pratiques culturales indique que plusieurs facteurs, qui se combinent, peuvent contribuer au développement et à la propagation rapide des maladies (fongiques et bactériennes) et des ravageurs : le choix de variétés sensibles, une forte densité de semis et de repiquage ou encore des apports excessifs d'engrais minéraux et des mauvaises associations culturales. La densité de repiquage chez les producteurs atteint en moyenne 62 500 plantes/ha ; alors qu'elle serait de 25 000 plantes/ha selon les recommandations de INERA-Burkina Faso (Rouamba *et al.*, 2013). Cette forte densité de repiquage à laquelle s'ajoute une forte utilisation des engrais chimiques par les producteurs, favoriserait, d'une part un manque d'aération des plantes favorisant un taux d'humidité élevé favorable aux maladies et, d'autre part, une moindre pénétration dans la végétation des gouttelettes de produits lors des traitements (Huat, 2008; Schiffers, 2011). Aussi, l'excès d'azote favoriserait une végétation excessive des plantes, un retard de production et surtout une augmentation de la sensibilité des plantes aux maladies (flétrissements bactériens, pourritures racinaires) et aux ravageurs (aleurodes et acariens) (Nicot *et al.*, 2012; Raynal *et al.*, 2014).

L'ensemble de ces mauvaises pratiques culturales engendrent une pullulation des bioagresseurs de la tomate, favorisant la forte utilisation des produits phytopharmaceutiques par les producteurs.

6.6.2. *Facteurs jouant sur l'utilisation des pesticides*

L'enquête montre un faible niveau d'instruction et de formation technique des producteurs. Cela ne favorise pas une bonne utilisation des produits phytosanitaires par méconnaissance des bioagresseurs et du produit adéquat à utiliser en fonction de la cible (Ahouangninou *et al.*, 2011; Kanda *et al.*, 2013; Wognin *et al.*, 2013; Naré *et al.*, 2015).

Au niveau des pesticides, la famille chimique des pyréthrinoides est la plus utilisée, alors que certains auteurs (Martin *et al.*, 2005; Achaleke et Brévault, 2009; Abou-Yousef *et al.*, 2010; Houndété *et al.*, 2010; Gnankiné *et al.*, 2013) ont signalé la résistance d'*Helicoverpa armigera* et de *Bemisia tabaci* (principaux ravageurs de la tomate au Burkina Faso) à cette famille chimique. Cette situation amène les producteurs à augmenter le nombre de traitements et les doses utilisées. La

conservation de la préparation de pesticide pendant plusieurs jours pour effectuer des traitements, entraîne sa dénaturation et sa faible efficacité obligeant ainsi les producteurs à intensifier les traitements ou à augmenter les dosages.

L'insuffisance de formation et de suivis des maraîchers amènent ces derniers à utiliser des produits inadéquats et à effectuer des dosages inadaptés. La majorité des pesticides utilisés par les maraîchers sont achetés sur les marchés locaux et sont d'origine étrangère (Ghana et Côte d'Ivoire). Cela constitue une infraction à loi burkinabè sur les pesticides et montre l'insuffisance de contrôle de l'Etat sur la vente et sur l'utilisation des pesticides.

6.6.3. Risques pour la santé publique et l'environnement

L'utilisation des pesticides nécessite un minimum de connaissances théoriques et pratiques pour écarter tout risque sur la santé humaine et sur l'environnement (Cissé *et al.*, 2006; Kanda *et al.*, 2013; Wognin *et al.*, 2013), alors que l'enquête montre un faible niveau d'instruction, de formation et de suivi des maraîchers. Cela contribue à augmenter le risque d'intoxication et de pollution de l'environnement. Les pesticides destinés au coton ne sont pas recommandés en maraîchage en raison de leur toxicité élevée, de leur forte concentration et de leur persistance sur la culture (Schiffers et Mar, 2011). En cas d'utilisation, il faudrait au moins respecter la dose efficace et les conditions d'utilisation. Mais ne sachant ni lire, ni écrire, ni réaliser de calculs, la plupart des producteurs ne peuvent comprendre les étiquettes rédigées en français (voire en anglais pour les produits venant du Ghana), ni respecter les instructions d'usage ou même interpréter les pictogrammes de sécurité.

Peu de producteurs enquêtés se conforment aux règles d'hygiène au cours de l'utilisation des pesticides. Ce constat joint celui fait par Doumbia et Kwadjo (2009) en Côte d'Ivoire, par Tyagi *et al.* (2015) en Inde et par Belhadi *et al.* (2016) en Algérie. Cela explique les cas d'intoxication aiguës rapportés par les producteurs et également exposés par d'autres auteurs (Toé, 2010; Ahouangninou *et al.*, 2011; Tarla *et al.*, 2013; Tarla *et al.*, 2015; Lehmann *et al.*, 2016b). Les effets possibles sur la santé sont d'autant plus préoccupants que l'on note la présence d'enfants et de femmes dans les parcelles où sont appliqués les pesticides. Diverses études ont signalé un accroissement du risque de maladies ou de malformation chez l'homme en général lié aux pesticides (Multigner, 2005; FAO et OIT, 2013). Chez les femmes, les conséquences possibles d'une exposition lors de l'utilisation des pesticides sont l'avortement spontané, la prématurité et la malformation des nouveaux nés (Samuel et St-Laurent, 2001; Multigner, 2005).

Afin de protéger la santé des consommateurs, il est nécessaire de respecter les doses d'utilisation et surtout le délai d'attente avant récolte (DAR) de chaque produit de façon à éviter que les résidus de pesticides contenus dans les légumes traités ne dépassent les limites maximales en résidus. Cependant, les producteurs ignorent en général ce délai et arrêtent leur traitement non pas en fonction des recommandations propre à chaque produit phytosanitaire, mais plutôt en fonction de la présence ou non de bioagresseurs dans leur parcelle. Ce non-respect du DAR a été également constaté par d'autres auteurs (Doumbia et Kwadjo., 2009; Ahouangninou *et al.*, 2011; Kanda *et al.*, 2013).

L'intensification des traitements et le non-respect des doses recommandées additionnés à la mauvaise gestion des emballages vides de pesticides (Doumbia et Kwadjo., 2009; Ahouangninou *et al.*, 2011; Belhadi *et al.*, 2016), engendrent des effets néfastes sur l'environnement. Naré *et al.* (2014), ont constaté une diminution significative de la déshydrogénase du sol suite à l'utilisation d'endosulfan, de deltaméthrine et de profenofos en production maraîchère au Burkina Faso. Lehmann *et al.* (2016a), soulignent la pollution de certains cours d'eau du Burkina Faso par les résidus de pesticides dans les zones maraîchères. Comme certaines retenues d'eau peuvent servir à l'élevage de poissons, on peut craindre un transfert des résidus de pesticides jusqu'à l'homme par la chaîne alimentaire, comme cela a été observé au Bénin à travers des tilapias dans des conditions similaires (Agbohessi *et al.*, 2012).

6.7. Conclusion et recommandations

Les pesticides utilisés sont achetés dans la majorité des cas dans les marchés locaux (90%) sans garantie de conformité et de qualité. Les Pyréthriinoïdes sont les plus utilisés, alors que plusieurs auteurs ont souligné la résistance des ravageurs concernés (*Bemisia tabaci* et *Helicoverpa armigera*) à cette famille chimique. Cela va contribuer à intensifier les traitements et par conséquent à exposer encore les agriculteurs qui sont faiblement protégés, et les consommateurs (du fait du non-respect des DAR) aux risques chimiques. Les déchets de pesticides qui sont abandonnés dans la nature, et l'utilisation de doses souvent plus fortes que celles recommandées contribuent à polluer l'environnement.

Pour favoriser une gestion rationnelle des pesticides et limiter leurs impacts sur la santé humaine et sur l'environnement au Burkina Faso, plusieurs actions devraient être menées :

- En premier lieu, il faudrait conduire des actions de formation des producteurs et des vendeurs de pesticides pour améliorer leur connaissance des ennemis des cultures et des règles d'utilisation des pesticides ;
- En second lieu, il faudrait favoriser les contacts des producteurs avec les instituts de recherche et les services techniques du Ministère chargé de l'Agriculture de façon à ce qu'ils puissent réagir de façon appropriée à l'apparition de nouveaux ravageurs, ou de nouveaux risques ;
- Enfin il serait très utile de proposer des actions permettant une réduction de l'utilisation des pesticides en agriculture par la promotion et la vulgarisation des méthodes alternatives basées sur l'utilisation de la lutte intégrée, même si cette voie n'est pas facile à suivre comme le montre par exemple les difficultés d'application du plan Ecophyto en France (Guichard *et al.*, 2017).

6.8. Remerciements

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de ARES-CDD (Projet PIC "Projet de Renforcement des Capacités de diagnostic et de gestion intégrée des Problèmes Phytosanitaires au Burkina Faso", UCL-ULg-IDR / UPB).

Chapitre 7

Assessment of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) producers' exposure level to pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso)

Assessment of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) producers' exposure level to pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso)

D. Son^{1,3*}, F.K.B. Zerbo¹, S. Bonzi¹, A. Legreve², I. Somda¹, et B. Schiffers³

¹Université Nazi Boni (UNB), Institut du Développement Rural (IDR), Unité Santé des Plantes du Laboratoire Systèmes Naturels, Agrosystèmes et Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), 01 BP1091 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

²Université Catholique de Louvain (UCL), Faculté des Bioingénieurs, Earth and Life Institute (Belgium)

³Gembloux Agro-Bio Tech/ULg – Laboratoire de Phytopharmacie
Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux (Belgium)

Ce chapitre est une version adaptée de l'article de recherche suivant :

Son D., Zerbo F.K.B., Bonzi S., Legreve A., Somda I., Schiffers B., 2018. Assessment of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) producers' exposure level to pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso). (Publié dans *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, 15, 204; doi: 10.3390/ijerph15020204).

7.1. Summary

To assess producers' exposure level to pesticides in vegetable production in Burkina Faso, a study was carried out in 2016 and 2017 among 30 tomato producers in the municipalities of Kouka and Toussiana. Eighteen (18) commercial formulations were identified, with more than 50% of pesticides destined for cotton production. Eleven active substances have been identified and the most frequently used are _cyhalothrin (35%), acetamiprid (22%) and profenofos (13%). The most commonly used chemical families are pyrethroids (28%) and organophosphates (18%). The study revealed a low level of training for producers, a high use of pesticides according to the Frequency Treatment Indicator, and a very low level of protection used by producers. The Health Risk Index shows that active substances such as methomyl, _cyhalothrin and profenofos present very high risk to operators' health. Based on the UK-POEM model, the predictive exposure levels obtained varied from 0.0105 mg/kg body weight/day to 1.7855 mg/kg body weight/day, which is several times higher than the Acceptable Operator Exposure Level. However, the study also shows that exposure can be greatly reduced if the required Personal Protective Equipment is worn. Producers' awareness and training on integrated pest management are necessary to reduce the risks linked to the pesticides use in Burkina Faso.

Keywords: tomatoes, pesticides, risk assessment, UK-POEM, producers, Burkina Faso

7.2. Introduction

In Burkina Faso, tomato cultivation only takes second place to onions with a production of 289,572 tons on an area of 11,766.4 ha during the 2013-2014 vegetable season (MARHASA, 2014). However, this production is subject to many constraints, including pest pressure (*Bemisia tabaci* Gennadius, *Helicoverpa armigera* Hübner, *Tuta absoluta* Meyrick), which forces producers to intensify chemical treatments beyond suggested recommendations by overdosing or increasing the number of treatments (Konaté *et al.*, 1995; Ouattara *et al.*, 2017; Son *et al.*, 2017a). Although plant protection products (PPP) enable satisfactory results in agricultural production, their use is risky to human health, the environment and non-target organisms (Alavanja *et al.*, 2004; Tomenson and Matthews, 2009; Ouédraogo *et al.*, 2014). This risk is higher because of the use in vegetable production of toxic and highly concentrated PPPs intended to combat pests in cotton without appropriate protective equipment (Schiffers and Mar, 2011; Son *et al.*, 2017b). Surveys on phytosanitary practices in tomato production in Burkina Faso show that more than 70% of producers do not take adequate protective measures during PPP use (Son *et al.*, 2017b). Several studies have shown that skin exposure remains the main risk allowing pesticide penetration into the human body (Macfarlane *et al.*, 2013; Ouédraogo *et al.*, 2014). This could explain the adverse effects experienced by producers (skin irritations, hot flushes, headaches, etc.) following pesticide application (Ouédraogo *et al.*, 2009; Ahouangninou *et al.*, 2011; Tarla *et al.*, 2013). 72% of 316 producers, surveyed on their phytosanitary practices in tomato production in Burkina Faso, complained of acute poisoning during or after pesticide application (Son *et al.*, 2017b). In addition to these acute effects, the chronic effects of pesticides on producers' health, such as cancer, neurological diseases and reproductive disorders, have been highlighted by several authors (Kamel and Hoppin, 2004; Ouédraogo *et al.*, 2014). On top of all this, a misuse of PPPs can also lead to consumer exposure (residues in food and water), environmental contamination (water and soil), emergence of resistant strains and auxiliary fauna destruction (Fernandes *et al.*, 2010; Agbohessi *et al.*, 2012).

Compared to cotton production, few studies have evaluated the potential exposure of Burkina Faso vegetables producers' to pesticides (Ouédraogo *et al.*, 2009; Ouédraogo *et al.*, 2014). However, the significant development of vegetables gardening in Burkina Faso and the intensification of phytosanitary treatments, especially in tomato production, which have not been preceded by any impact study beforehand, justify this study considering that measuring the risk to operators is an obligation when registering PPPs (CILSS, 1999; EFSA, 2014).

It is in this context that this field study marked by close monitoring of some tomato producers surveyed in 2015-2016 (Son *et al.*, 2017b), was carried out in 2016 and 2017, not only to further characterize their practices, assess the frequency and intensity of phytosanitary treatments, but also to assess the potential exposure of producers to these pesticides.

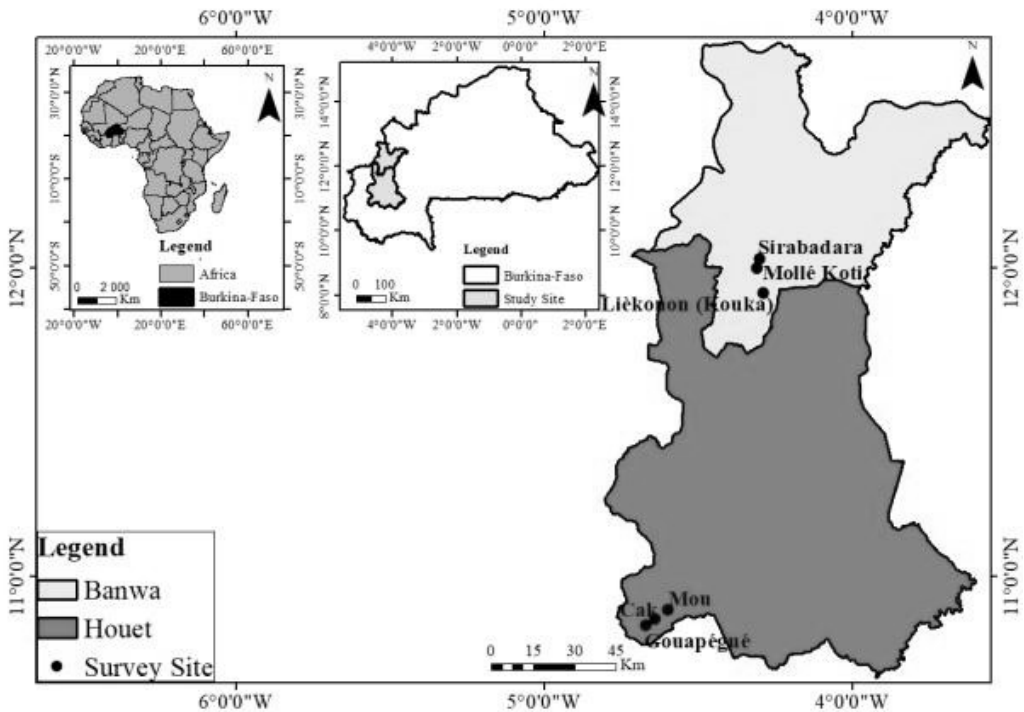
The importance of this paper after that on phytosanitary practices of tomato producers in Burkina Faso (Son *et al.*, 2017b), is intended to once more draw the

attention of producers and authorities to the risks associated in pesticides use and the necessity to apply the better phytosanitary practices.

7.3. Materials and methods

7.3.1. Observation sites

In order to characterize producers' phytosanitary practices, surveys and close monitoring were made in the provinces of Banwa in 2016 and Houet in 2017 (Western Burkina Faso). In each province, 15 tomato producers were randomly selected from the six main production sites located in two communes (Kouka and Toussiana) (**Figure 30**). These volunteer producers were selected from those surveyed in 2015-2016 on their phytosanitary practices (Son *et al.*, 2017b) to follow end-to-end their phytosanitary practices (pesticides used, dosage, Personal Protective Equipment (PPE) worn during treatments, etc.) since the transplanting of their tomato plants until the harvest, by systematically recorded all activities and behaviors during pesticides use.



Source: D. Son

Figure 30 : Location of the six observations sites of phytosanitary practices of tomato producers in the communes of Kouka and Toussiana (Burkina Faso).

7.3.2. Observations and measurements

In order to assess producer's dependency and exposure to pesticides, observations and measurements were made on 30 producers during phytosanitary treatments. Those observations were based on:

- The pesticides used by the producer (commercial name of the PPP, active substances, recommended dose and actual dose used);
- The personal protective equipment (PPE) worn by the producer;
- The quality of the material (measuring container used for dosing and spraying);
- The negligent behaviour (eating, smoking, urinating ...) during the application;
- The sanitation measures taken after pesticide application immediately washing hands and feet;

The measures related to the PPP application conditions are:

- The treated area during each application, using a Global Positioning System (GPS);
- The doses and volumes of spray mix used, with graduated receptacles;
- Preparation, application and rinsing times of the equipment, using a chronometer;
- Temperature (°C) and wind speed (m/s), using a CFM/CMM Thermo-Anemometer, model DT-619(Ruby Electronics, Saratoga, CA, USA);
- Air humidity, with a digital thermo-hygrometer using a Profi-Thermo-Hygrometer, TFA (Dostmann GmbH + Co. KG, Zum Ottersberg, Germany).

7.3.3. Computation of the Health Risk Indexes

Based on the information collected on the phytosanitary practices of producers and datas indexed in databases on the pesticides' toxicological properties (SAGe pesticides), the health risk index (HRI) was calculated using the pesticides risk indicator of Quebec-IRPeQ developed by the Quebec National institute of public health (INSPQ), the Quebec ministry for Sustainable development, the Environment and the Parks (MDDEP) and the Quebec Ministry for Agriculture, Fisheries and Food (MAPAQ) (Samuel *et al.*, 2012). The toxicological data used to compute the index have been collected in various databases (European Union pesticide database, SAGe pesticides (Canada), Agritox and INERIS (France), etc.). These toxicological properties have been classified according to their CLP (Classification, Labeling and Packaging) by the EU-Pesticides Database (EU—Pesticides Database, 2017). The choice of the indicator of risks of the pesticides (IRPeQ) to calculate HRI was made by considering the availability of the tool, its ease of use depending on data accessibility for the most active ingredients. It was used by Ahouangninou *et al.* (2012) and by Bouagga *et al.* (2016) in Benin and Tunisia, enabled the evaluation and toxicity comparison of various active substances. HRI calculation integrates acute toxicity values (oral LD50, dermal LD50, inhalation LC50, eyes and skin irritation, sensitization), chronic toxicity values (carcinogenic risks, reproductive and

developmental risks, genotoxicity and potential endocrine disruption) modulated by a factor related with persistence and bio-accumulation of active substances in the human body (BCF or bio concentration factor). It also takes into account the concentration, the formulation type and the application dose. HRI help to rank the toxicity of pesticide in order to choose those that are less harmful to human health (Samuel *et al.*, 2012). It is calculated as follows:

$$HRI = \frac{TRI \times FPF \times FCP}{10}$$

$$HRI_{PPP} = \sum HRI_{Active\ substance}$$

With:

- $HRI_{active\ substance}$ = Health risk index for the active substance
- TRI = Toxicological risk index of the active substance = $[\Sigma \text{ of acute toxicity points} + (\Sigma \text{ of chronic toxicity points} \times FPer)]^2$. *The sum of the variables is squared to obtain a larger distribution of values and to highlight pesticides presenting higher risks*
- FPer = Factor taking into account the environmental persistence, (based on TD50 in soil) or the bioaccumulation potential in humans (BCF value). It varies from 1 to 2.5
- FPF = Weighting factor related to formulation type. It varies from 1 to 2 depending on the potential contamination via the formulation (respectively low risk and high risk)
- FCP = Compensation factor to account for the active substance concentration in the end-use product and the applied dose (concentration x recommended dose / ha)
- 10 = Quotient to obtain an HRI of an acceptable order of magnitude, as the value obtained may be very high for some active substances with high TRI.

The criteria for acute and chronic toxicity of the active substances are weighted by points (Samuel *et al.*, 2012).

7.3.4. Treatments frequency and intensity indicator

The treatment frequency index (TFI) corresponds to the ratio between the applied dose and the dose recommended on the label, taking into account the area of the treated plot (Pingault *et al.*, 2009; MAAF, 2015). Each application is regarded as a treatment, even in the case where the product is used in divided doses. A mixture of two products applied during the same passage also counts for two treatments.

$$TFI_{Treatment} = \frac{DU \times St}{RD \times ST}$$

With:

- $TFI_{Treatment}$ = TFI calculated during each PPP application;
- DU = Dose used by the producer during each loading of the sprayer;
- RD = Recommended dose of the PPP;
- St = Area of the plot treated during each application
- ST = Total field area

The TFI per plot corresponds to the sum of TFIs per treatment throughout the production cycle

$$TFI_{Plot} = \sum TFI_{treatment}$$

The calculated TFI is compared to the regional or national reference TFI. In case of absence of a reference TFI, it is compared with the 70th percentile of the TFI for the crop considered after surveying a minimum of 30 plots (DRAAF, 2014).

7.3.5. The model used to assess producers dermal exposure

In order to estimate the potential exposure level (PE, in mg/kg body weight/day), the British model or the UK *Predictive Operator Exposure Model* (UK-POEM) was used. It is presented on an Excel sheet (**Figure 31**). Parameters such as the application method, the formulation and the PPP' concentration, the personal protective equipment (PPE), the dose and the volume of application were used in the model in accordance with local practice. This model was also used by other authors (Ouédraogo *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2016; Ilyassou *et al.*, 2017). All the required parameters in this model are presented in the **Table15**.

Table 15 : Parameters used in the UK POEM model to estimate producers' potential exposure to pesticides.

Parameters used in the UK-POEM Model	Details
Application method	Backpack sprayer (15 L tank)
Formulation type	EC, SC ou WP
Dermal absorption from product	10% default value (WHO, 2011)
Absorption par inhalation	100% default value (WHO, 2011)
Container	1 L, any closure
Personal Protective Equipment (PPE)	Scenario 1: none Scenario 2: mask, gloves and combination
Surface treated / day	1 ha (default value)
Duration of spraying	6 h (default value)
Operator weight	60 kg (WHO conventional body weight)

The total predictive exposure is the sum of dermal and inhalation exposure during mix/loading (mainly through hands contact) and the spraying (droplets received all over the body). The predictive exposure was estimated for two scenarios: without PPE, to the most common scenario in Burkina Faso, and with PPE (mask, gloves and coverall). The calculation is made by active substance and for each pesticide.

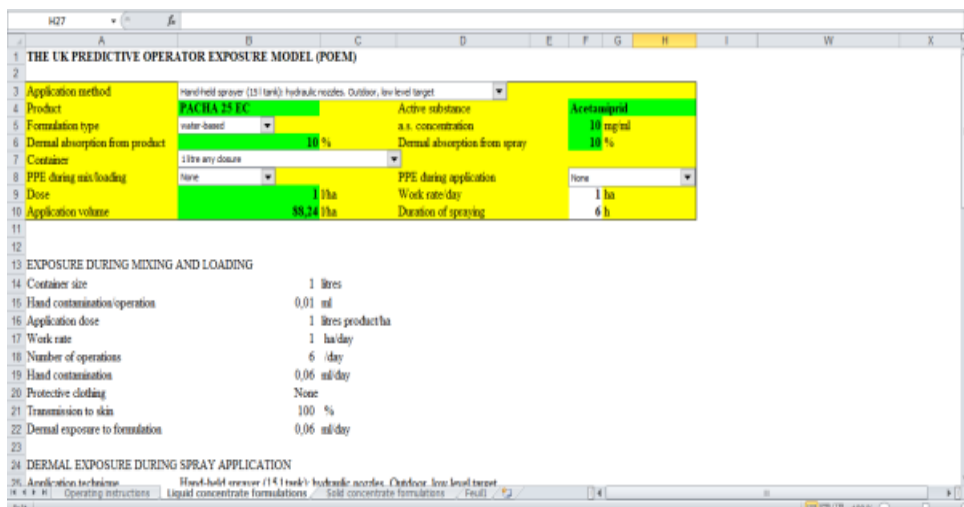


Figure 31 : Screenshot of the UK-POEM model spreadsheet.

7.3.6. Risk characterization

The risk for each active substance used by the producers was characterized by comparing the predictive exposure value expressed in mg/kg body weight/day with AOEL (Acceptable Operator Exposure Level). When this value is lower than the value of AOEL, the risk may be considered acceptable. If the risk is considered unacceptable for the market gardener, mitigation measures should be recommended.

7.3.7. Statistical analysis

The treatment frequency index (TFI) values of the different sites, after a logarithmic transformation, were analyzed by a single factor ANOVA after verification of the normality and the homoscedasticity of the data (R 3.3.3 software (Manufacturer by Kurt Hornik., Welthandelsplatz, Austria) (Team, 2017). Moreover an HSD Tukey test of structuring of averages was carried out.

7.4. Results

7.4.1. PPP used by the surveyed producers and toxicity of active substances

PPP and active substances used by producers are listed in **Table 16**. Eighteen (18) commercial formulations, consisting of 73% insecticides, 18% fungicides and 9% insecticides-acaricides, were identified. Five of these formulations are not approved by the Sahelian Pesticides Committee (SPC), which is the only office of the Permanent Inter-State Committee for Drought Control in the Sahel (CILSS) that regulates the use of pesticides in its Member States. The usage rate of pesticides registered for cotton but used on tomatoes was 54% in Kouka and 25% in Toussiana. Eleven active substances were identified; the most frequently used are λ -cyhalothrin (35%), acetamiprid (22%), profenofos (13%) and cypermethrin (12%). The most widely used chemical families are pyrethroids (28%), organophosphates (18%) and carbamates (18%).

The calculation of the health risk index revealed that methomyl, λ -cyhalothrin, profenofos and chlorothalonil are active substances that showed the highest risks of poisoning (**Table 17**). Both profenofos and indoxacarb present the highest risk of acute and chronic toxicity.

Table 16 : List of PPPs used by 30 producers in tomato production in Kouka and Toussiana (Burkina Faso)

Trade Name of PPP	Area of Use	Formulation	Active Substances	Chemical Families	SPC Approval	WHO Class
ACARIUS 018 EC	Vegetables	EC	Abamectin (18 g/L)	Avermectin	Yes	I
AVAUNT 150 SC	Cotton	CS	Indoxacarb 150 g/L	Carbamates	Yes	-
BIOK 16	Vegetables	WP	Bt var. kurstaki: 2-4% (16.000 UI/mg)	Bacillaceae	Yes	III
COGA 80 WP	Vegetables	WP	Mancozeb (800 g/kg)	Carbamates	Yes	U
CONQUEST 176 EC	Cotton	EC	Cypermethrin (144 g/L) + Acetamiprid (32 g/L)	Pyrethroids + Neonicotinoids	Yes	II II
DUEL CP 186 EC	Cotton	EC	Cypermethrin (36 g/L) + Profenofos (150 g/L)	Pyrethroids + Organophosphates	None	II II
EMA 19.2 EC	Cotton	EC	Emamectin benzoate (19.2 g/L)	Avermectin	Yes	II
EMACOT 019 EC	Cotton	EC	Emamectin benzoate (19 g/L)	Avermectin	Yes	II
EMIR FORT 104 EC	Cotton	EC	Cypermethrin (72 g/L) + Acetamiprid (32 g/L)	Pyrethroids + Neonicotinoids	Yes	II II
JUMPER 75 WG	Vegetables	WG	Chlorothalonil (750 g/Kg)	Chloronitrile	Yes	U
K-OPTIMAL	Vegetables	EC	λ -Cyhalothrin (15 g/L) + Acetamiprid (20 g/L)	Pyrethroids + Neonicotinoids	Yes	II II
LAMBDA POWER	Vegetables	EC	λ -Cyhalothrin (25g)	Pyrethroids	None	II
LAMBDA SUPER 2.5 EC	Vegetables	EC	λ -Cyhalothrin (25 g)	Pyrethroids	None	II
LAMBDACAL P636EC	Cotton	EC	Λ -Chyhalothrine (36 g/L) + Profenofos (600 g/L)	Pyrethroids + Organophosphates	Yes	II II
PACHA 25 EC	Vegetables	EC	Λ -Cyhalothrin (15 g/L) + Acetamiprid (10 g/L)	Pyrethroids + Neonicotinoids	Yes	II II

Trade Name of PPP	Area of Use	Formulation	Active Substances	Chemical Families	SPC Approval	WHO Class
POLYTRINE 336 EC	Cotton	EC	Cypermethrin (36 g/L) + Profenofos (300 g/L)	Pyrethroids + Organophosphates	None	II
SAVAHALER	Vegetables	WP	Methomyl (250 g/kg)	Carbamates	Yes	Ib
TROPISTAR 336 EC	Cotton	EC	Cypermethrin (36 g/L) + Profenofos (300 g/L)	Pyrethroids + Organophosphates	None	II

EC = Emulsifiable concentrate; WP = Wettable powder; CS = Concentrated suspension; WG = Water-dispersible granules; **Class I:** extremely/highly hazardous; **Class Ib:** very hazardous to humans; **Class II:** moderately hazardous; **Class III:** slightly hazardous, **Class U:** Unlikely to present a hazard to humans under normal use conditions. **WHO:** World Health Organisation.

Table 17 : Value of the parameters used in the calculation of the Health Risk Index (HRI) and the toxicity of the active substances used for tomato protection in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).

Active Substances	Use Rate	Σ of Acute Toxicity Points	Σ of Chronic Toxicity Points	FPer	TRI	FPf	FCP	Points Allocated to HRI	CLP Classification
Profenofos	12%	20	18	1	1444	2	0.73	209.4	H302, H312, H332
Indoxacarb	6%	15	18	1.5	1764	2	0.52	183.2	H301, H317, H332, H372
Methomyl	2%	26	4	1.5	1024	2	0.78	160.0	H300
Mancozeb	1%	10	6	1	256	2	2.00	102.4	H317, H361d
Cypermethrin	13%	18	4	2	676	2	0.53	71.3	H302, H332, H335
Chlorothalonil	1%	20	0	1	400	1	1.63	65.0	H317, H318, H330, H335, H351

Active Substances	Use Rate	Σ of Acute Toxicity Points	Σ of Chronic Toxicity Points	FPer	TRI	FPf	FCP	Points Allocated to HRI	CLP Classification
Abamectin	4%	19	4	1.5	625	2	0.51	64.2	H300, H330, H361d, H372
λ -Cyhalothrin	35%	25	0	2	625	2	0.50	64.0	H301, H312, H330
Emamectin benzoate	5%	17	0	1	289	2	0.51	29.3	Unclassified
Acetamiprid	26%	9	2	1	121	2	0.52	12.5	H302
<i>Bacillus thuringiensis</i>	1%	Un	Un	Un	Un	Un	Un	Un	Un

FPer = Factor taking into account the environmental persistence or the bioaccumulation potential in humans; **TRI** = Toxicological risk index of the active substance; **FPf** = Weighting factor related to formulation type; **FCP** = Compensation factor to account for the active substance concentration in the end-use product and the applied dose; **HRI** = Health risk index for the active substance; **H300** = Fatal if swallowed; **H301** = Toxic if swallowed; **H302** = Harmful if swallowed; **H312** = Harmful in contact with skin; **H317** = May cause an allergic skin reaction; **H318** = Causes serious eye damage; **H330** = Fatal if inhaled; **H332** = Harmful if inhaled; **H335** = May cause respiratory irritation; **H351** = Suspected of causing cancer; **H361d** = Suspected of damaging fertility or the unborn child; **H372** = Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure; **Un** = Unclassified.

The PPPs that pose the greatest risk to human health are: POLYTRINE 336 EC, TROPISTAR P 186 EC, AVAUNT 150 SC and LAMBACAL P 636 EC (**Table 18**). These PPPs are normally recommended for cotton production.

Table 18 : Decreasing ranking of the toxicity of pesticides used by producers for tomato protection in Kouka and Toussiana (Burkina Faso) according to the Health Risk Index (HRI).

Trade Name of PPP	Active Substances	Points Allocated to HRI
POLYTRINE 336 EC	Cypermethrin + Profenofos	280.63
TROPISTAR P 186 EC	Cypermethrin + Profenofos	280.63
LAMBACAL P 636 EC	Lambda-cyhalothrin + Profenofos	273.29
AVAUNT 150 SC	Indoxacarb	183.15
SAVAHALER	Methomyl	160.00
DUEL CP 186 EC	Cypermethrin + Profenofos	136.05
COGA 80 WP	Mancozeb	102.40
CONQUEST 176 EC	Acetamiprid + Cypermethrin	83.71
EMIR FORT	Acetamiprid + Cypermethrin	83.71
K-OPTIMAL	λ -Cyhalothrin + Acetamiprid	76.37
LAMANET 46 EC	λ -Cyhalothrin + Acetamiprid	76.37
PACHA 25 EC	λ -Cyhalothrin + Acetamiprid	76.37
JUMPER 75 WC	Chlorothalonil	65.00
ACARIUS 018 EC	Abamectin	64.19
LAMBDA POWER	λ -Cyhalothrin	63.91
LAMDA SUPER 2.5 EC	λ -Cyhalothrin	63.91
EMA 19.2 EC	Emamectin benzoate	29.32
EMACOT 019 EC	Emamectin benzoate	29.32
BIO K 16	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Unclassified

7.4.2. Level of education and PPE worn by tomato producers

Among the producers surveyed, 70% received no education and only 13% received training in plant protection. The lowest level of education was observed in the Township of Kouka (80% of surveyed producers). There were no PPE available in compliance with phytosanitary applications (mask, gloves, protective clothing) used by the surveyed producers (**Table 19**). The few producers who used masks and gloves, usually made of cloth, wore them during pesticide application only and not also during the preparation of the spray mix, despite the risk of inhaling concentrated pesticide vapors.

Table 19 : Level of PPE adoption of 30 producers during the use of pesticides in tomato protection in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).

PPE/Clothing	SS and S	SS and T	LS and T	Total
No protection	20%	43%	7%	70%
Mask	0%	7%	17%	24%
Mask + Gloves	0%	3%	3%	6%
Total	20%	53%	27%	100%

SS = short sleeves; S = shorts; LS = long sleeves; T = trousers.

7.4.3. Status of sprayers and PPPs dosage

30% of the backpack sprayers used by the producers surveyed are in poor condition and leak during pesticide application. Few producers (two from Kouka and five from Toussiana) meet the recommended dose of PPP. 27% (three producers from Kouka and five from Toussiana) were below the recommended dose and 50% of surveyed producers overdose their PPP (**Figure 32**).

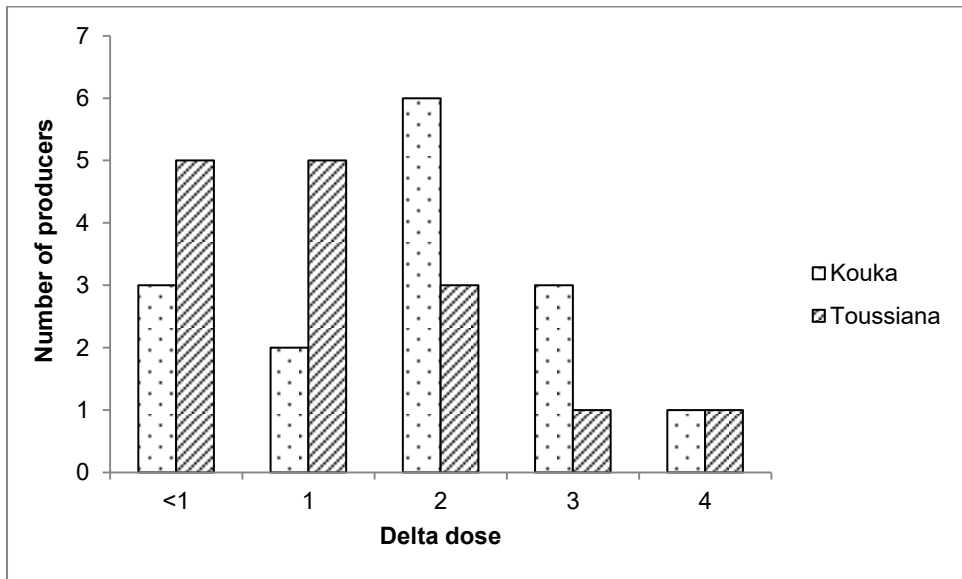


Figure 32 : Pesticide dosage profile by the 30 tomato producers surveyed in Kouka and Toussiana (Burkina Faso). Delta dose is the ratio of the dose used by the producer (L or g) to the recommended dose for the treated area.

7.4.4. Intensity of treatment and observed carelessness

The TFI indicates a high use of pesticides in the commune of Kouka, with nine producers above the 70th percentile compared to four producers in Toussiana (**Table 20**). **Figure 33** shows a highly significant difference between sites ($p \leq 0.001$). However within the same township, no significant difference was observed between the sites. The average number of treatments per tomatoes production cycle is 11.93 ± 2.58 in Kouka and 5.33 ± 1.68 in Toussiana.

Table 20 : TFI values for tomato protection in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).

Communes	Number of Producers	TFI Minimum	Average TFI	TFI at the 70th Percentile	Maximum TFI
Kouka	15	0.36	2.29 ± 2.24	2.32	9.78
Toussiana	15	0.03	0.27 ± 0.20	0.30	0.83
Total	30	0.03	1.28 ± 1.87	1.67	9.78

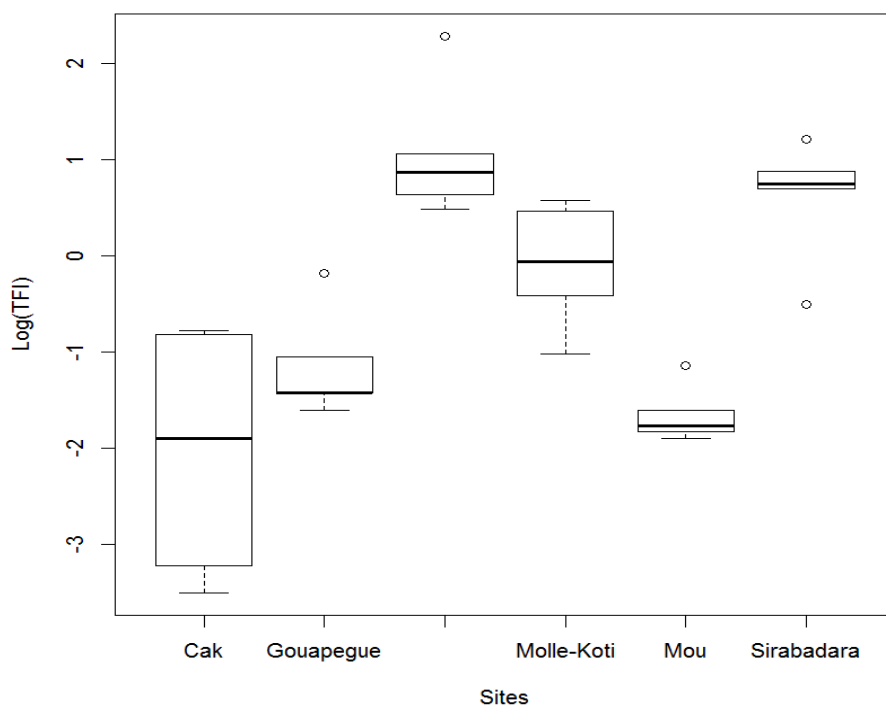


Figure 33 : Comparison of TFI of the six sites observed in the communes of Kouka and Toussiana (Burkina Faso).

As for the carelessness observed which may favor the rapid exposure of the operator to pesticides, they are represented in **Figure 34**. All market gardeners surveyed used their bare hands to manipulate the product packaging and contaminated objects (measuring instruments, lance, nozzles) and 43% did not wash their hands before urinating during the application of PPP.

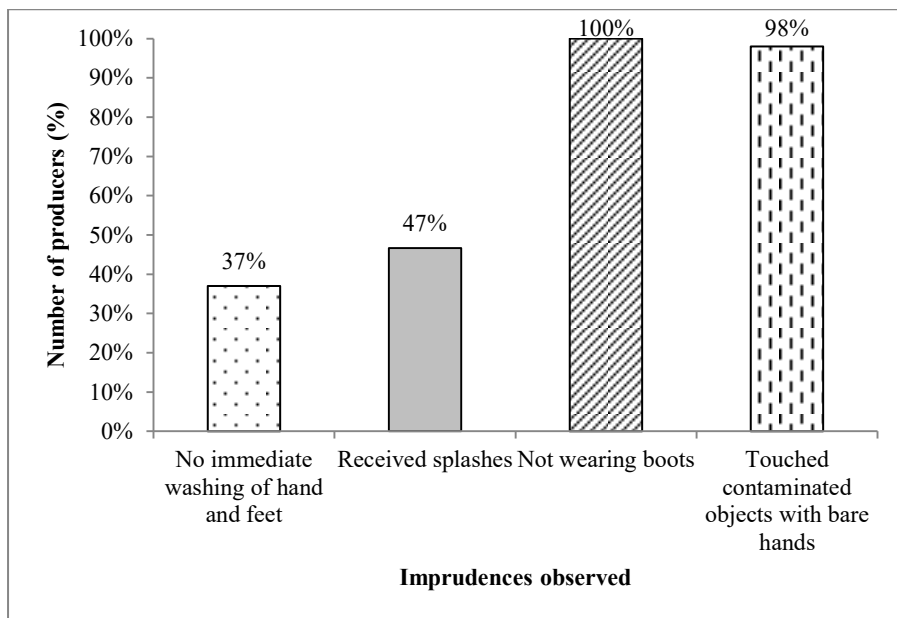


Figure 34 : Types of carelessness observed during treatments amongst 30 producers in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).

7.4.5. Exposure risks and health effects witnessed by producers

Results in **Table 21** show that producers could be highly exposed to pesticides, especially in Kouka Township. Apart from cypermethrin and acetamiprid, all used active substances presented unacceptable risks to the operator with estimated exposure levels exceeding several times the acceptable operator exposure level (AOEL). The potential values for dermal exposure during mixing, loading and spraying when producers work without PPE range from 0.0136 mg/kg bw/day (acetamiprid) to 1.7855 mg/kg bw/day (chlorothalonil) in Kouka and from 0.0105 mg/kg bw/day (acetamiprid) to 0.2914 mg/kg bw/day (profenofos) in Toussiana. λ -Cyhalothrin is more likely to be exposed at more than 2000% of AOEL in both townships. However, when using complete PPE (wearing of mask, gloves and protective clothing), the risk of exposure is reduced by more than 800 times with λ -cyhalothrin. In terms of the effects felt by producers during or after pesticide use, 57% of producers reported that they felt certain health effects such as skin irritation (23%), eye diseases (19%), nasal discharge and coughing (11%).

Tableau 21 : Decreasing ranking of the exposure of tomato producers in Kouka and Toussiana (Burkina Faso).

Active Substances	LD ₅₀ (dermal) (mg/kg·bw/day)	Number of Producers Using This Active Substance		Operator Exposure (mg/kg·bw/day): Unprotected		Operator Exposure (mg/kg·bw/day): Complete Protection		AOEL (mg/kg·bw/day)	% AOEL (Unprotected)		% AOEL (Complete Protection)	
		Kouka	Toussiana	Kouka	Toussiana	Kouka	Toussiana		Kouka	Toussiana	Kouka	Toussiana
Chlorothalonil	>10,000	1	0	1.7855	-	0.3978	-	0.0090	19,839%	-	4420%	-
Methomyl	>2000	0	2	-	0.1738	-	0.0204	0.0025	-	6950%	-	816%
Mancozeb	>5000	1	0	1.6905	-	0.2371	-	0.035	4830%	-	677%	-
Emamectin benzoate	>2000	2	2	0.0129	0.0144	0.0018	0.0018	0.0003	4314%	4800%	611%	583%
Lambda-cyhalothrin	632	14	12	0.0172	0.0151	0.0021	0.0021	0.0006	2732%	2410%	339%	339%
Indoxacarb	>5000	5	0	0.0714	-	0.0080	-	0.0040	1785%	-	199%	-
Profenofos	>2000	9	1	0.2753	0.2914	0.0319	0.0442	Unavailable	-	-	-	-
Abamectine	>2000	0	3	-	0.0151	-	0.0021	0.0025	-	604%	-	83%
Cypermethrin	>4920	9	2	0.0595	0.0407	0.0065	0.0058	0.0600	99%	68%	11%	10%
Acetamiprid	>2000	10	12	0.0136	0.0105	0.0016	0.0015	0.0700	19%	15%	2%	2%

The LD₅₀ is the amount of a single-dose administered at one time that causes the death of 50% (half) of a group of test animals.

7.5. Discussion

The results show a high use of PPP normally recommended for cotton production being used tomatoes, especially in the Kouka township, and that they present a high risk to health according to the calculated HRI. Schiffers and Mar (2011) reported that these PPP are not recommended in vegetable production because of their high toxicity and high concentration of active substances. Pyrethrinoids are the most commonly used, and several authors have reported the resistance of the main tomato pests like *B. tabaci*, *H. armigera* and *T. absoluta* to the insecticides of this chemical family (Siqueira *et al.*, 2000a; Gnankiné *et al.*, 2013). This choice leads to an intensification of treatments and consequently to an increased risk of poisoning from exposure. Among the formulations used, 75% are liquid. In general, the substances present in these formulations are more easily absorbed through the skin and other tissues than solid formulations (Kim *et al.*, 2017). According to Berenstein *et al.* (2014), exposure from liquid PPP is 22 to 62 times higher than that of solid PPP.

While the use of PPP requires a minimum amount of knowledge to work safely, the results of the study showed a low level of education and training of the producers. Unable to read or write, understanding and following instructions mentioned on the labels (dose to be applied, safety instructions, PPE to be worn, hygiene, etc.) is limited to the producers, which increases the risks of exposure. According to Jallow *et al.* (2017), insufficient knowledge, the influence of retailers, and the lack of access to alternative pest management methods are pushing producers to use PPP. On the other hand, the higher the level of education and training, the lower the exposure (Lebailly *et al.*, 2009; Jallow *et al.*, 2017). Therefore, after two years of Integrated Pest Management (IPM) training, Hruska and Corriols (2002) found that trained farmers used less pesticide, spent less money on pest management, and endured less exposure to pesticides. In Mali, after 8 years of IPM training, the use of hazardous insecticides decreased by 92.5% by cotton producers compared to those who had not received training (Settle *et al.*, 2014).

Compliance with the type of PPE depending on the toxicity of the pesticide used, the formulation (liquid, powder or granules) and the type of activity (mixing, loading or spraying), enables the pesticide applicator to reduce exposure. A study conducted in lemon trees revealed that dermal exposure would be reduced by 27% by using gloves, 38% by protective clothing and 65% by gloves and protective clothing (Nigg *et al.*, 1986).

However, our study showed a low level (or absence) of producer protection. The few producers who used masks and gloves wore them during the application of pesticides but not during the preparation of the mixture when the greatest exposure occurs because the product is handled in the concentrated state and the risk of inhalation of concentrated pesticide vapors remains high (Flores *et al.*, 2011; Schiffers and Mar, 2011; Lawson *et al.*, 2017). 64% of hand contamination occurred during the mixing-loading phases (Lebailly *et al.*, 2009). 20% of producers wore short-sleeved clothing and shorts, while several studies have highlighted heavy contamination of legs and forearms during pesticide application (Lebailly *et al.*,

2009; Syamimi *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2015). Another factor favoring producers' exposure to pesticides is the use of defective sprayers that leaked during the application of pesticides. This increases the contamination rate, because even in the normal state (absence of leaks), contamination via the hands is 25% and 50% by the legs with the backpacker if there is no adequate protection (ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, 2010).

In addition to the lack of wearing of PPE and the use of defective sprayers, the intensification of treatments (increased doses and number of treatments) also favors the exposure of producers to pesticides. According to several authors (Fenske and Day, 2005), dermal and respiratory exposure is proportional to the application rate and the frequency of application. According to Baldi *et al.* (2012), spraying is responsible for 50% of the total daily exposure. Failure to comply with hygienic measures such as washing hands before urinating during PPP application is also a very important risk factor for pesticide contamination of producers. In accordance with Poet (2000), pesticides are absorbed 12 times faster by the genitals compared to the forearms.

The weather conditions at the time of application, such as temperature and air humidity, can affect the volatility of the product and the rate of sweating of human body (Aubertot *et al.*, 2005; Fenske and Day, 2005; Gil *et al.*, 2008). High temperatures cause excessive sweating to promote rapid penetration of the product into the body and winds above normal (1 and 2 m/sec) can transport the product out of the targeted zone and cause contamination of the applicator by the pesticide (Fenske and Day, 2005; Schiffers and Moreira, 2011; El-Aissaoui, 2015). The meteorological conditions recorded at the level of the two localities during the application of pesticides are within the recommended ranges in the exposure of the operators. Pesticide applications are carried out either very early in the morning or in the evening when the weather conditions are favorable.

λ -Cyhalothrin presents an unacceptable risk of toxicity to producers, where it is most used in market gardening production in Burkina Faso and in the subregion (Ahouangninou *et al.*, 2011; Ohui, 2014; Lehmann *et al.*, 2016a; Illyassou *et al.*, 2017; Son *et al.*, 2017b). This active substance is extremely toxic to humans (irritation of eyes, skin, colds and coughs) (JMPR, 2007a; INERIS, 2011). This could largely explain the malaise felt by 57% of the producers monitored. In the short term, it is neurotoxic (ataxia, tremors, occasional convulsions), but in the long term it is not carcinogenic or genotoxic and has no effect on reproduction and development but rather causes a decrease in body weight (JMPR, 2007a). However, with mask, gloves and protective clothing, the risk of exposure can be reduced by more than 800 times, thus demonstrating the importance for the operator to wear complete PPE to reduce pesticide contamination (Toé *et al.*, 2013; Wumbei, 2013; Ouédraogo *et al.*, 2014).

7.6. Conclusion

The results of this study showed an intensification of pesticide use in tomato production in Burkina Faso with high exposure risks. According to the study, there is little training of producers in the use of plant protection products in relation to their inappropriate practices (use of highly toxic pesticides, overdose, no use of PPE, etc.). Apart from acetamiprid and cypermethrin, all the active substances exceeded the exposure values of their acceptable exposure level (AOEL) for the operator. λ -Cyhalothrin, which is the most widely used active ingredient in vegetable production in Burkina Faso, and in the two localities studied, present a particularly high risk of exposure for the producers. However, this exposure can be reduced by 800 times if recommended PPE were used. To promote the rational management of pesticides and limit their impact on human health and the environment in Burkina Faso, it is necessary to reduce and control the use of pesticides by:

- Raising awareness among producers to the risks and the training on the recognition of pests and auxiliaries to be respected ;
- Increasing popularity of biopesticides and alternative methods, as well as the promotion of integrated pest management ;
- Providing training based on the rules of best practice for the use of pesticides, emphasizing safety instructions and the importance of the use of protective equipment.

7.7. Acknowledgement

This study was carried out with the financial support of the ARES-CDD (PIC Project "Integrated Management of Phytosanitary Problems in Burkina Faso", UCL-ULg-IDR / UNB).

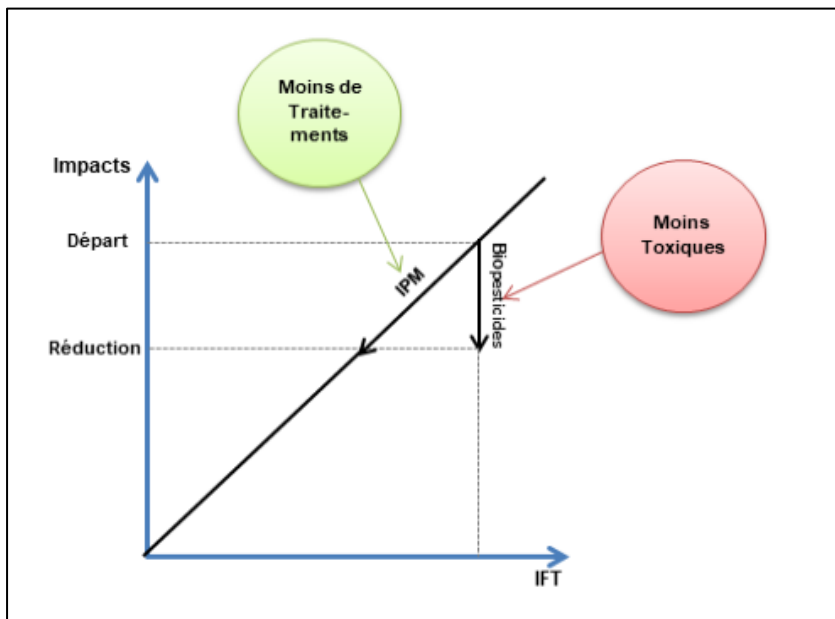
Partie IV : Stratégies de lutte intégrée (IPM) permettant une réduction de l'utilisation des pesticides en production de tomate au Burkina Faso

Introduction aux stratégies de lutte intégrée (IPM) en protection de tomate au Burkina Faso

Comme démontré dans les chapitres précédents, les pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs de tomate engendrent une forte pullulation des ravageurs et par conséquent, une intensification de l'utilisation des pesticides. Au regard des impacts sanitaires et environnementaux de cette lutte chimique classique, il s'avère important de proposer des actions permettant une réduction de l'utilisation des pesticides en protection de tomate au Burkina Faso. C'est dans ce sens que se situe cette partie de l'étude qui a pour objectifs de réduire :

- l'utilisation des pesticides chimiques plus toxiques en production tomate au Burkina Faso, en combinant les biopesticides avec les pesticides chimiques dans la lutte contre les ravageurs de la tomate.
- l'intensité des traitements, à travers des stratégies de lutte intégrée (IPM) basées sur les associations culturales de la tomate avec les plantes répulsives permettant de réduire la pullulation des ravageurs.

La **Figure 35** décrit les stratégies mises en place pour une réduction de l'utilisation des pesticides chimiques en production de tomate au Burkina Faso.



Source : D. Son

Figure 35 : Schéma des stratégies mises en place pour une réduction de l'utilisation des pesticides chimiques et les impacts associés à leur utilisation en production de tomate au Burkina Faso.

Chapitre 8

**Comparaison of efficiency and selectivity of
three bio-insecticides for the protection of
tomatoes in Burkina Faso**

Comparaison of efficiency and selectivity of three bio-insecticides for the protection of tomatoes in Burkina Faso

D. Son¹, S. Irénée¹, L. Anne² & S. Bruno³

¹Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), Institut du Développement Rural (IDR),
Laboratoire de phytopathologie (Burkina Faso)

²Université Catholique de Louvain (UCL), Faculté des Bioingénieurs,
Earth and Life Institute (Belgium)

³Gembloux Agro-Bio Tech/ULg – Laboratoire de Phytopharmacie
Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux (Belgium)
Corresponding author E-mail: sondiakalia@yahoo.fr

Ce chapitre est une version adaptée de l'article de recherche suivant :

D. Son, I. Somda, A. Legreve & B. Schiffers, 2016. Comparaison of efficiency and selectivity of three bio-insecticides for the protection of tomatoes in Burkina Faso. (Publié dans *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 81(3): 289-297.

8.1. Summary

The search for less toxic products and alternatives methods is a need to elaborate integrated control strategies for growing tomatoes in Burkina Faso to reduce the dependence of farmers on pesticides. A trial was carried out in the village of Kouka, from December 2015 to March 2016, to assess the effectiveness and action spectrum of biopesticides on several key pests of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Burkina Faso, namely two Lepidoptera caterpillars (*Helicoverpa armigera* (Hub.) and *Utetheisa pulchella* L.) and whiteflies (*Bemisia tabaci* (Genn.)). The effectiveness of the three products already sold in the country has been evaluated: BIO K 16 (1.5 kg/ha), H-N (3 L/ha) and PiOL (3 L/ha). In order to develop a Integrated Pest Management (IPM) approach and in the aim to cover the spectrum of pests, each biopesticide has been applied in association with abamectine, an insecticide, acaricide and nematicide (ACARIUS 18 EC, 1 L/ha). In general, all treatments resulted in significant protection of the tomato fruit against caterpillars of moths, but had no effect on *Bemisia tabaci*. The combination *Bacillus thuringiensis*-abamectine has provided both the best protection of the fruits and the highest yield (19.6 T/ha). This combination could be recommended as part of IPM in tomato cultivation.

Key words: Tomato, biopesticides, *Bacillus thuringiensis*, *Helicoverpa armigera*, *Utetheisa pulchella*.

8.2. Introduction

In Burkina Faso, the tomato production is in second place after the onion. The production obtained during the 2011/2012 campaign was 185.700 tonnes (MAH, 2012). However, this production is still fragile because of strong pressure of pests (especially the caterpillars of moths) and some area can no longer produce tomatoes in sufficiency (IFDC, 2007). To reach economically viable production levels, chemical pesticides is still the most used control method by the producers, sometimes with the use of non-recommended pesticides in vegetable products (such as cotton pesticides and obsolete pesticides) (Toé, 2010; Congo, 2013; PAFASP, 2014).

Furthermore, we observe that for the vegetable productions in Burkina Faso, the doses used and the frequency of spraying exceed the recommendations (PAFASP, 2014). This intensive use of pesticides generates high exposure for the producer during application and for the consumers via pesticide residues in harvested products, the emergence of resistance and environmental contamination. To limit the impact of these pesticides on human health and the environment, the search for less toxic products and alternative methods is a priority in Burkina Faso. Therefore, it is necessary to develop integrated pest management (IPM) strategies, efficient and profitable, for the tomato cultivation in Burkina Faso to reduce farmers' dependence to pesticides when tomato is the most treated speculation in this country. To test some IPM strategies, a trial was carried out to assess the efficacy and the spectrum of action of three biopesticides used in combination with a chemical pesticide against tomato pests (*Helicoverpa armigera* Hub., *Utetheisa pulchella* L., *Bemisia tabaci* Genn.).

8.3. Materials and methods

8.3.1. Field trial

A field trial was carried out in the village of Kouka, from December 2015 to March 2016, to evaluate the efficiency and the spectrum of action of several biopesticides on the main pest of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Burkina Faso, that are the caterpillars of two Lepidoptera (*Helicoverpa armigera* (Hub.) and *Utetheisa pulchella* L.) and the whiteflies (*Bemisia tabaci* G.). To follow the apparition of the major pests on tomato, the yellow traps of van Moericke ($\varnothing = 27$ cm, h = 10 cm) have been used. This model is frequently used in entomology fauna of agricultural environments (Mignon *et al.*, 2003). Traps were located in the untreated plots (T0).

The trial was set up at the vegetable production site of Lièkonon (N = 11°55' 09.2" W = 4°17' 26.3") approximately 8 Km from the village of Kouka. The trial took place during the dry season (end of December 2015 to March 2016). The soil is sandy clay type. The climate is of Sudanese type. During the trial, a thermo-hygrometer has been measured on site with an average temperature of 31.3°C and an average relative humidity of 32%. The experimental plots were prepared by land clearing, plowing and flattening of boards.

The plant material used is the tomato cv. “Roma VF”, having a cycle from 120 to 160 days and a potential yield of 40 T/ha (FAO, 2008). This cultivar is one of the most popular in Burkina Faso, but it is very sensitive to attacks from carpophageous Lepidoptera like moths (FAO, 1999 cited by Gouba, 2002; FAO, 2008; RECA/Niger, 2014). Plants were produced in a nursery 25 days before transplanting (January 16, 2016).

The experimental design was in 4 Fisher blocks completely randomized, with 5 objects; each block was installed at a different producer. The size of elementary plots was 50 m². They were separated by bunds of 100 cm wide. Plants inside the plots were spaced at 40 cm x 80 cm. The 5 objects (4 repetitions by object) were: the control (T0: no treatment), the 3 biopesticides combined with an insecticide (T1: BIO K 16+ACARIUS 18 EC; T2: H-N+ACARIUS 18 EC; T3: PiOL+ACARIUS 18 EC) and the pesticide (insecticide-acaricide) used alone (T4: ACARIUS 18 EC).

8.3.2. Characteristics and origins of the products

The effectiveness of three “biopesticides” products already produced and/or marketed in Burkina Faso (BIO K 16, H-N and PiOL) was evaluated in comparison to a control (untreated plot) and a reference (plot treated with an insecticide-acaricide also available locally).

To control all pests, including mites, as well as to be closer to an integrated pest management strategy, each of these 3 biopesticides was used in association with ACARIUS 18 EC (1L/ha), an insecticide, acaricide and nematocide with 18 g of abamectin per liter. Abamectin is an active substance produced by fermentation from an actinomycete fungus living in soil. It acts as an insecticide-acaricide by contact and ingestion and is recommended in IPM (iFlex, 2010) against biting and chewing pests. The characteristics of the commercial products are described in **Table 22**.

The spraying of these plant protection products was performed with 4 OSATU sprayers with a capacity of 1 L (one sprayer was used for each product).

Table 22 : Names, origins and characteristics of the 3 biopesticides and the insecticide ACARIUS 18 EC used for the trial on tomatoes.

Commercial name	Firm	Composition	Formulation (code and dose/ha)	Area of use
BIOK 16	Prophyma	<i>Bt</i> var. <i>kurstaki</i> : 2-4% (16.000 UI/mg)	Wettable powder (WP, 1,5 kg/ha)	Authorised against <i>Pieridae</i> , <i>Leaf miners</i> , <i>Noctuidae</i> , <i>Leafrollers</i> and <i>moths</i> .
H-N	Bioprotect (Burkina Faso)	H-N essentially made of neem oil. Both a foliar fertilizer and a biological insecticide.	Liquid solution (SL, 3 L/ha)	Authorised against thrips, mites, the cotton bollworm, whitefly, leaf miners, aphids, etc.
PiOL	Bioprotect (Burkina Faso)	Extracts of chilli, garlic and onion. Both repellent and curative effect.	Liquid solution (SL, 3 L/ha)	Authorized against aphids, leaf-eating caterpillars.
ACARIUS 18 EC	Prophyma	Abamectin (18g/l) Acts by contact and ingestion.	Emulsifiable concentrate (EC, 1 L/ha)	Insecticide allowed against insects and mites on vegetables.

Dosage, periods and conditions of use of the plant protection products are shown in **Table 23**.

Table 23 : Dosage, periods and conditions of use of the PPP in the trial.

Commercial name	Dosage for 50m ²	Volume of mixture sprayed	Interval between 2 treatments	Number of treatments
Bio K16	10 g	2 L	14 days	3
H-N	24 ml	2 L	14 days	3
PiOL	24 ml	2 L	14 days	3
ACARIUS 18 EC	4 ml	2 L	14 days	2

The first treatment was on November 02, or 26 days after transplanting. An interval of two weeks between the treatments (alternatively a biopesticide and ACARIUS 18 EC) was respected leading to 5 sprayings at the total on each plot.

8.3.3. Assessment of damage

On each plot, from the 15th day after transplanting, the population of *Helicoverpa armigera* caterpillars was evaluated on 10 randomly chosen plants. Since a larva can be found or perforate several fruits, they are eliminated to avoid any double counting. The interval between 2 observations, being of 7 days, a correlation between the dynamic evolution of the insect and the product's protective activity was observed.

The number of fruits perforated by the caterpillars is also evaluated on the ten plants. To prevent data loss before harvest since the perforated fruit fall faster, they are collected for observation (for opening) and larval counting, and then destroyed after each observation.

At maturity, 24 fruits were randomly harvested, in each block and for each treatment. The average fruit weight was then determined to assess performance, and the number of healthy fruits or damaged ones by the larvae was recorded.

Attacked bodies and parts of plants with abnormalities (necrosis, burns, rots, etc.) that can be signs or symptoms of disease or phytotoxicity of products applied were also taken and analyzed at Plant Pathology Laboratory ("Clinique des Plantes") of the "Institut du Développement Rural" (UPB/Burkina Faso) to determine the causal agent.

8.3.4. Statistical analysis of data

The collected data were entered using the Excel software and the analysis was executed with the IBM SPSS.22 software. The average number of larvae as well as the average number of fruit healthy or damaged by the caterpillars, were determined and subjected to an ANOVA analysis with one factor (Product X Pressure of the larvae). The Newman-Keuls test and Ducan test were associated to the previous analysis to gather objects whose effects are similar to the 5% (or 10%) threshold(s).

8.4. Results

8.4.1. Health outcomes plots

For all producers, we observe that plots were damaged by pest attacks and various diseases. The whiteflies (over 50% of plots), Lepidoptera (*Helicoverpa armigera* and *Utetheisa pulchella*) and locusts were the most often seen pests in fields. *Fusarium oxysporum* and *Alternaria* (blight) were responsible of over 50% of the observed attacks (dryness of the plants' collets or even whole plants). This pressure of pests and diseases, representative of usual conditions in Burkina Faso, has strongly affected the development of plants and fruit production.

8.4.2. Pests collected in yellow traps

Three main pests (locusts, *Helicoverpa armigera* and *Utetheisa pulchella*), on top of whiteflies (*Bemisia tabaci*), were collected in the yellow traps. **Figure 36** shows the evolution of insect populations collected in the untreated plots.

Locusts have reached their peak outbreak on the 19th day after transplanting before undergoing a decrease on the 47th day after transplanting. *Helicoverpa armigera* recorded its peak outbreak on the 40th day after transplanting with a total of four insects trapped. Regarding *Utetheisa pulchella*, two peaks were observed in the 26th and 40th day after transplanting, each time with 10 individuals observed in the traps.

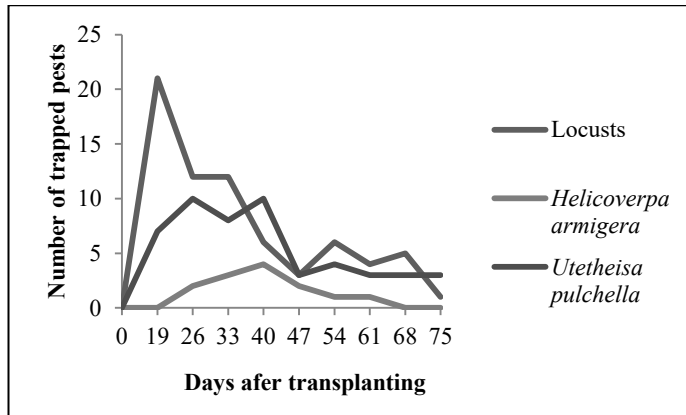


Figure 36: Evolution of pest populations on untreated plots by trapping.

8.4.3. Evolution of the caterpillar populations in untreated and treated plots

Figure 37 shows the evolution of Lepidoptera larvae populations (*Helicoverpa armigera* and *Utetheisa pulchella*) in treated plots compared with the control (T0).

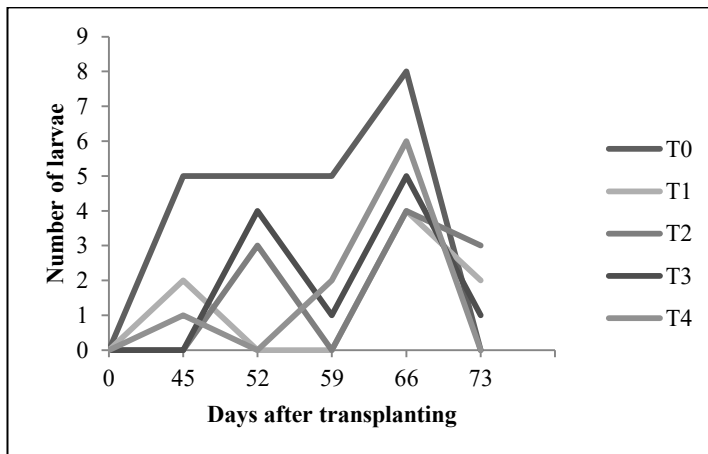


Figure 37: Evolution of caterpillar populations per treatment ((T0: Control (yellow traps without insecticide treatment); T1: BIO K 16 + ACARIUS 18EC; T2: H-N + ACARIUS 18EC; T3: PiOL + ACARIUS 18EC; T4: ACARIUS 18 EC)

We observe two outbreak peaks in all treatments. In T0, T1 and T4 treatments, the first peak was reached on the 45th day after transplanting and the second on the 66th day. In T3 and T2 treatments, the outbreak peaks were reached on the 52nd day after transplanting and on the 66th day respectively.

8.4.4. Treatment effects on the caterpillars population and on fruits protection

Figure 38 compare the average number of perforated fruits and the average of caterpillars collected by type of treatment.

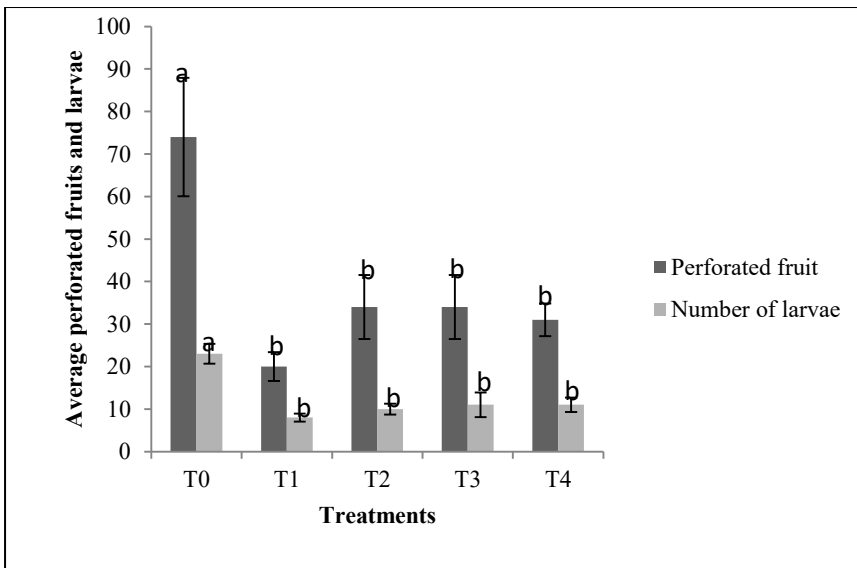


Figure 38: Average number of perforated fruit and number of larvae collected per treatment ((T0: Control (yellow traps without insecticide treatment); T1: BIO K 16 + ACARIUS 18EC; T2: H-N + ACARIUS 18EC; T3: PiOL + ACARIUS 18EC; T4: ACARIUS 18 EC)

Variance analysis shows no significant difference between treatments regardless of the biopesticide used (T1, T2, T3) nor between the associations or the insecticide alone (T4). However, according to the Newman-Keuls test, there is a significant difference between the untreated control (average of 16 fruits perforated and 4.75 larvae collected) and all treatments.

Nevertheless we can observe that the combination BIO K 16+ACARIUS 18 EC would present a higher efficacy in terms of fruit protection than the other biopesticides (H-N and PiOL) or the insecticide alone (ACARIUS 18 EC), because it has allowed to register the lowest average number of perforated fruits (5 perforated fruits and an average of 1.5 caterpillars collected). A higher number of repetitions would no doubt have demonstrated significant differences between this treatment and the other biopesticides.

8.4.5. Treatment effects on fruit yield

Table 24 below summarizes the yields obtained from different treatments.

Table 24 : Average weight of healthy and perforated mature fruits, yield (Tons of tomatoes/ha), net yield/ha, yield loss (in %), depending on treatments.

Treatments	Average weight of healthy fruit (kg/50 m ² ±σ)	Average weight of perforated fruit (kg/50 m ² ±σ)	Yield (T/ha ² ±σ)	Net yield (T/ha ² ±σ)	% Yield loss
T0	85.57±9.82 ^a	8.77±5.17 ^a (10,2%)	18.48±2.69 ^a	17.11±1.96 ^a	9,47
T1	98.05±5.60 ^b	2.74±1.85 ^b (3,0%)	20.16±1.23 ^a	19.61±1.12 ^b	2,73
T2	87.77±6.44 ^{ab}	4.66±4.12 ^{ab} (5,3%)	18.87±2.04 ^a	17.55±1.29 _{ab}	4,93
T3	91.20±9.99 ^{ab}	4.66±4.14 ^{ab} (5,1%)	19.17±2.77 ^a	18.24±2.00 _{ab}	4,85
T4	96.13±6.10 ^b	4.25±2.12 ^{ab} (4,4%)	20.07±0.94 ^a	19.23±1.22 _{ab}	4,24

T0: Control (yellow traps without insecticide treatment); T1: BIO K 16 + ACARIUS 18EC; T2: H-N + ACARIUS 18EC; T3: PiOL + ACARIUS 18EC; T4: ACARIUS 18 EC

In the same column, the results followed by the same letter are not significantly different at the 10% threshold (Duncan test).

The variance analysis (Duncan test, 5% threshold) doesn't show any significant difference between treatments. But at the 10% threshold a significant difference appears between treatment T1 (BIO K 16+ACARIUS 18 EC) and the control (T0) in terms of protecting the fruits against the Lepidoptera caterpillars and in terms of net yield, indicating the effectiveness of the protection of this combination. No significant difference was observed between treatments combined with ACARIUS 18 EC.

8.5. Discussion

Throughout the trial, yields observed are below expectation for this cultivar (40 Tons/ha). This lower efficiency is due to the pests (moths, locusts and whiteflies) and *Alternaria* present on the plants. This observation confirms the pressure that pests and diseases exert on the tomato and the vegetable crops in general in Burkina Faso.

The infestation levels of moth caterpillar populations have varied according to the phenological stage of the plants. Comparison of pest populations collected in yellow traps showed that adults of both Lepidoptera (*H. armigera* and *Utetheisa pulchella*) reached their peaks on the 40th day after transplanting, period that corresponds to the flowering-fruiting of the tomato. Adults (butterflies) are attracted by the flowers

and that explains the large outbreaks. Our results are in agreement with those of Adje *et al.* (2009) who also observed that *H. armigera* peaked outbreak at the same date.

Utetheisa pulchella, especially harmful to crotalarias, also attacks cowpea, the tomato and eggplant (Appert and Deuse, 1982). It was reported in Senegal (Djiba, 1986). The strong outbreak of this pest in our trial may be due to rising temperatures from February to March in Burkina Faso. Indeed this insect flies better in dry and sunny conditions.

In terms of protection of the fruits against the larvae of caterpillars and yields, we observe a weaker moth attack in the treated plots, especially during the first and sensitive 45 days. All associations do not show equal effectiveness, but in all cases, the number of caterpillars observed in treated plots is still lower than the control plots. This shows that the biopesticides used, associated with ACARIUS 18 EC, can protect with a real efficiency the tomato fruits despite the severity of the attacks.

The insecticide application (ACARIUS 18 EC) and the biopesticide made of *Bacillus thuringiensis* (BIO K 16) has achieved the best protection and the best yields. This is due to the effectiveness of *Bt* against the moth of tomato (Sanchis, 2016; Sanchis *et al.*, 2016). Indeed, it is at the 2nd larval stage that the caterpillar *H. amigera* enters the fruits and perforates them in galleries making them unmarketable (Mazollier, 2001). The Kurstaki strain of the *Bacillus thuringiensis* is a contact product, acting only by ingestion, specific to the Lepidoptera young larvae (L1 and L2 stages) able to eliminate them by poisoning after consumption of treated foliage (Mazollier, 2001).

However, associations of abamectin with biopesticides have failed to protect plants against the whitefly whose presence is observed from the second week after transplanting (from end of January until end of March) on most of the plots. This strong outbreak of whitefly populations could result from a part of the test set-up period (January to March) which is favorable to its development. Thus Nzi *et al.*, (2010), have found that planting in June allowed a lower proliferation of *Bemisia tabaci* compared to seedlings produced from December. On the other hand, the proper development of plants in the field has allowed them to outbreak. The works of Burbán (1991), Adje *et al.* (2009) and Nzi *et al.*, (2010) showed that the whitefly populations were especially important on the young leaves and on plants in the vegetative development stage. And indeed, their population was particularly important after the 2nd week of transplanting up until flowering.

Finally, acrididae being essentially leaf-eating, their populations were higher in the vegetative phase, with a peak observed on the 19th day after transplanting, but the damage was not significant.

8.6. Conclusion

In conclusion, the use of biopesticides (BIO K 16, H-N and PiOL) in combination with abamectin allowed to protect the fruits of tomatoes against the larvae of moths, even if these associations have not had a significant effect on the whitefly. The Integrated Pest Management scheme will have to be completed to control outbreaks of this pest especially resistant to pesticides.

Plots treated with *Bacillus thuringiensis* and abamectin have recorded significant lowest losses in tomato fruits and have resulted in a better yield, close to 20 Tons/ha which is the average yield in tomato production in Burkina Faso.

The protection of human health and environment against the misuse of pesticides, is a hot topic, the use of biopesticides otherwise appears as an effective way, at least as a way to explore to reduce the use of pesticides in vegetable crops and avoid all the known disadvantages of a non-rational chemical control. Developing production of itineraries with IPM strategies, it will be possible to reduce the impact of chemical treatments and therefore protect human health of users and consumers and the environment.

8.7. Acknowledgements

This study was conducted with the financial support of ARES-CDD (PIC Project “Projet de renforcement des capacités de diagnostic et de gestion intégrée des problèmes phytosanitaires au Burkina Faso », UCL-ULg-IDR/UPB).

Chapitre 9

Effect of plant diversification on pest abundance and tomato yields in two cropping systems in Burkina Faso: Farmer practices and integrated pest management

Effect of plant diversification on pest abundance and tomato yields in two cropping systems in Burkina Faso: Farmer practices and integrated pest management

D. Son^{1,3*}, I. Somda¹, A. Legreve² & B. Schiffers³

¹Université Nazi Boni (UNB), Institut du Développement Rural (IDR), Unité Santé des Plantes du Laboratoire Systèmes Naturels, Agrosystèmes et Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), 01 BP1091 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

²Université Catholique de Louvain (UCL), Faculté des Bioingénieurs, Earth and Life Institute, Croix du Sud, 2 bte L7.05.03, B-1348-Louvain-la-Neuve (Belgium)

³Gembloux Agro-Bio Tech/ULIEGE – Laboratoire de Phytopharmacie
Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux (Belgium)

Corresponding author E-mail: sondiakalia@yahoo.fr

Ce chapitre est une version adaptée de l'article de recherche suivant :

D. Son, I. Somda, A. Legreve & B. schiffers, 2018. Effect of plant diversification on pest abundance and tomato yields in two cropping systems in Burkina Faso: Farmer practices and integrated pest management (Article soumis dans: *International Journal of Biological and Chemical Sciences*)

9.1. Abstract

In Burkina Faso, pests are the main constraint to tomato production because they can cause a complete loss of yields. To protect their crops, producers use extensively chemical pesticides. However, this method can be ineffective and creates collateral effects on public health and on environment. To mitigate this problem, Integrated Pest Management (IPM) trials based on tomato crop in association with basil, garlic or onion were compared to the usual practices of producers in field trials in 2017. The tomato-onion association provided both the best protection of the fruits and the highest yield (3 kg / m²) compared to peasant and other IPM practices. No pesticide residue was detected in samples (tomatoes and soils) from IPM practices. However, several active substances (profenofos, lambda-cyhalothrin and chlorpyrifos-ethyl) were detected in samples from farmers' practices. Only chlorpyrifos-ethyl showed a residue level above its Maximum Residue Limit (MRL) in tomatoes (360% of MRL), without acute intoxication risk for consumers according to the calculations of the Predictable Short Term Intake (PSTI).

Awareness-raising and producer training on the better agricultural and phytosanitary practices are necessary to protect public health and environment against adverse effects of pesticides in Burkina Faso.

Keywords: Tomato, peasant practices, IPM, cultural association, Burkina Faso.

9.2. Introduction

In Burkina Faso, tomato is the second vegetable crop after onion. Its production was estimated at 289,572 tons on 11,766.4 ha during the 2013-2014 vegetable season (MARHASA, 2014). However, this production is limited by many constraints such as pest pressure, early drying of water supplies and a high cost for inputs (seeds, pesticides, fertilizers). Among these major constraint, pest pressure is predominant and the responsible agents in Burkina Faso and other country like Benin are mainly: whiteflies (*Bemisia tabaci* Gennadius), caterpillars (*Helicoverpa armigera* Hübner) and tomato leafminer (*Tuta absoluta* Meyrick) (Chougourou *et al.*, 2012; Ouattara *et al.*, 2017; Son *et al.*, 2017a). To achieve profitable yields economically, producers intensify (most often arbitrarily) chemical treatments leading to overdosing and increasing number of treatments despite recommendations on labels of plant protection products (Son *et al.*, 2017b). This increasing and unjustified use of pesticides, affects directly farmers health because they do not use personal protective equipment (PPE) during handling and spraying (Ouattara *et al.*, 2010; Tarla *et al.*, 2013; Son *et al.*, 2017b). This misuse of pesticides can also threaten the health of consumers and environment with risks of pesticide residues in vegetables and concomitantly, water and soils (Fernandes *et al.*, 2010; Naré *et al.*, 2015; Lehmann *et al.*, 2017). Also, this unreasoned practices quickly leads pest resistance to pesticides and the vicious circle of increasing doses and number of treatments (Martin *et al.*, 2000; Brévault *et al.*, 2007).

In order to mitigate the problem of pesticide exposure and the development of insect resistance to insecticides, it is recommended to use chemicals only at last resort. This system can be achieved only by combining different control methods namely the use of healthy seeds, the choice of resistant cultivars, production of healthy plants in nurseries, balanced nutrition of plants, diversification of production in the same plot, frequent observations at the field level, etc. When plants are diversified in the same plot, pests have more difficulties in locating their host and the diversity favors the presence of pests natural enemies (Hilje *et al.*, 2001; Hooks and Johnson, 2003; Parker *et al.*, 2013). Furthermore, host-hiding and encouragement of natural enemies depress the development of pest populations, reducing the need to pesticide resort increasing crop yields (Parker *et al.*, 2013). Schuster (2004) showed a reduction of *B. tabaci* populations when tomato plot was surrounded by Marrows. Medeiros *et al.* (2009), showed that intercropping (tomato-coriander association), favored a greater diversity of predatory arthropods, coinciding with the peak of *T. absoluta* populations.

The purpose of this study was to test alternative control strategies that could reduce the use of pesticides in tomato cultivation in Burkina Faso by comparing peasant practices (PP) with integrated pest management (IPM) approaches based on the cultural associations of tomatoes with aromatic plants: basil (*Ocimum basilicum* L.), garlic (*Allium sativum* L.) or onion (*Allium cepa* L.). The aromatic plants were selected to be associated with tomato crops, because they have a high added value for producers and can protect host plant against their pests (Auger *et al.*, 2002; Dross, 2012; Rhino *et al.*, 2014; Khafagy, 2015).

9.3. Materials and methods

9.3.1. Field trials

The trials were conducted by four tomato producers in two main market gardening sites of Bobo-Dioulasso: Kuinima (N = 11°08.393'; W = 004°19.068') and Kodéni (N = 11°07.993'; W = 004°18.983'). The trial took place during the dry season (end of December 2016 to April 2017) where the minimum temperature is 30 ° C with an average relative humidity of 32%. The soil is hydromorphic type with silty clay texture and the main crops produced in these sites were tomato, cabbage, onion, lettuce, green bean, pepper and amaranth.

The plants used consisted of tomato, basil, garlic and onion for Integrated Pest Management (IPM) practices and tomato plus lettuce for peasant practices (PP). The tomato variety used in IPM was the cv. "LINDO F1". This variety is reported to have a resistance to bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*), Tobacco Mosaic Virus (TMV) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* according to "TECHNISEM" Company (France), responsible for vegetable seed productions which are sold in Burkina Faso by NAKOSEM Company (TECHNISEM, 2016). In the present study, the tomato variety has a cycle from 65 to 70 days and a potential yield of 40-60 T/ha. The onion variety used is cv. "VIOLET DAMANI". Its sowing-maturity cycle is 100-110 days with a potential yield of 30-40 T/ha (TECHNISEM, 2016). Basil cultivar used is the "GRAND VERT". Arabaci and Bayram, (2004) reported an average yield of 419.5 kg green herb /ha for *Ocimum basilicum* L. As garlic seeds were not available in Burkina Faso, garlic cloves were bought at the market for seedling. The tomato variety used in peasant practices is the cv. "TROPIMECH" which is known to be highly productive (more than 160 T/ha) but very sensitive to diseases, namely Fusarium, bacterial wilt and to whiteflies (TECHNISEM, 2016). Lettuce was associated with tomato in PP plots. Seeds were produced by the producers themselves who had not any information on the variety and expected yields.

In each site, the trials were carried out with two producers: one for PP and another for IPM. The experimental device in each trial (or site) was a Fischer block completely randomized, with 5 treatments and 3 replicates per treatment (randomized blocks). In each block, each elementary plot measured 20 m². The blocks were separated by a distance of 0.5 m. The 5 treatments in each site were: PP (reference); tomato alone (T); tomato with basil (T+B); tomato with garlic (T+G) and tomato with onion (T+O).

In the peasant plots, each producer conducted his crops according his usual technique from nursery to harvest (PP) and all operations have been systematically recorded. The average spacings in PP was 20 cm x 20 cm. The number of plants was 360 plants (producer 1 - PP1) and 420 at producer 2 (PP2) for the same surface (60 m²).

In the IPM plots (also of 60 m²), all cropping operations were carried out in the same way at both sites under our control. Basil, garlic and onion plants were transplanted in interlining two weeks before tomatoes to favour their protective role.

In the IPM plots, tomato plants were spaced at 40 cm x 70 cm, ie 75 plants per block and 225 plants per treatments.

9.3.2. Characteristics of the plant protection products used in PP and IPM

The plant protection products (PPP) used for the peasant and IPM practices are listed in **Table 25**. In PP plots, farmers chose the PPPs they will use. Nevertheless in IPM plots, the choice of PPPs was determined according to the pests present on the sites by us.

Table 25 : List of pesticides used on tomatoes in PP and IPM plots.

Practices	Commercial name	Composition	Recommended dose on labels	Area of use
PP1	ACARIUS 018 EC	Abamectin (18g/l)	1 L/ha	Allowed against insects and mites on vegetables.
	TITAN 25 EC	Acetamiprid (25g/l)	1 L/ha	Authorised against thrips, mites, whiteflies, aphids.
	BIO K 16	<i>Bt</i> var. kurstaki: 2-4% (16.000 UI/mg)	1.5 g/ha	Authorised against leaf miners and caterpillars of Noctuidae.
	LAMBDA POWER	Lambda-cyhalothrin (25g/l)	0.8 L/ha	Authorised against thrips, mites, whiteflies, aphids on cotton and vegetables.
	DURSBAN B168 EC	Chlorpyrifos-ethyl (150g/l) + Cyfluthrin (18 g/l)	1 L/ha	Permitted against thrips, whiteflies, aphids and phyllophagous caterpillars, carpophages on cotton.
PP2	ACARIUS 018 EC	Abamectin (18g/l)	1 L/ha	Allowed against insects and mites on vegetables.
	TITAN 25 EC	Acetamiprid (25g/l)	1 L/ha	Authorised against thrips, mites, whiteflies, aphids.
	BIO K 16	<i>Bt</i> var. kurstaki: 2-4% (16.000 UI/mg)	1.5 g/ha	Authorised against leaf miners and caterpillars of Noctuidae.
	DURSBAN B168 EC	Chlorpyrifos-ethyl (150g/l) + Cyfluthrin (18 g/l)	1 L/ha	Permitted against thrips, whiteflies, aphids and phyllophagous caterpillars, carpophages on cotton.
	LAMBDA L P 636 EC	Lambda-cyhalothrin (36 g/) + Profenofos (600 g/l)	0.334 L/ha	Permitted against thrips, whiteflies, aphids and phyllophagous caterpillars, carpophages on cotton.

Practices	Commercial name	Composition	Recommended dose on labels	Area of use
IPM	ACARIUS 018 EC	Abamectin (18g/l)	1 L/ha	Allowed against insects and mites on vegetables.
	TITAN 25 EC	Acetamiprid (25g/l)	1 L/ha	Authorised against thrips, mites, whiteflies, aphids.
	BIOPIQ	0.6% Matrine	1L/ha	Authorised against mites, aphids, whiteflies, thrips, jassids
	BIO K 16	<i>Bt</i> var. <i>kurstaki</i> : 2-4% (16.000 UI/mg)	1.5 g/ha	Authorised against leaf miners and caterpillars of Noctuidae.

PP1: peasant practices for the first producer; PP2: peasant practices for the second producer; IPM: Integrated pest management

In the PP plots, producers applied PPP according to their methods, but in IPM plots, the decision to applied PPP was based on observations and assessments made on the plots (**Table 26**). Pesticides have been applied with the backpack sprayer (15 L tank).

Table 26 : Monitoring of evolution of the pests population in IPM plots.

Pests	Observation Period	Observation Frequency	Subject Observed	Damage Threshold	Solutions
<i>Bemisia tabaci</i>	Two weeks after transplanting until the first harvest	Weekly	- Observation on 15 plants and 3 leaves per plant ; - Counting adults / leaf ; - State of the leaves (leaf curled in spoon) and plants growth (dwarfism).	6 to 10 adults / leaf or 5 infested plants / 15	- Protection of nurseries with insect nets ; - Irrigation of plants by aspersion ; - Application PPP (TITAN 25 EC, ACARIUS 18 EC or BIOPIQ).
<i>Helicoverpa armigera</i>	Four weeks after transplanting until the end of harvest	Weekly	- Adults observation on Yellow water traps installed; - Caterpillars observation on leaves, flowers and fruits on 15 plants.	3 to 5 adults capture / week or 3 to 5 caterpillars / 15 plants	- - Suppression and destruction of affected organs. - Application PPP (BIOK 16).

9.3.3. Entomofauna collection and assessment of infestation level

In each object (PP and IPM), two yellow water traps ($\varnothing = 27$ cm, h = 10 cm) were installed for collecting entomofauna. The observations of insects began two weeks after transplanting of tomatoes (35 days after sowing). In IPM, the monitoring of whiteflies was performed on 15 plants per treatment and on each plant 3 leaves were considered. For *H. armigera* caterpillars, the observations began 4 weeks after transplanting and were carried out on flowers, leaves and fruits. Fifteen plants were retained per practices. The observations were made weekly and carried out early morning (between 6:00 am and 8:00 am) when whiteflies were particularly less active and easier to spot and count (Ofori *et al.*, 2014).

Parts of plants with necrosis, burns, rots, etc. that have been observed as symptoms of disease were analyzed at Plant Pathology Laboratory (Clinique des Plantes) of the Institute of Rural Development at the Nazi Boni University (Burkina Faso) to identify the causal agent.

9.3.4. Evaluation of yields of different practices (PP and IPM)

Assessments of healthy or damaged fruits and net yields were performed at each harvesting period. The average unit weight (U, in kg) of tomatoes was determined in order to calculate the Predictable Short Term Intake (PSTI). The economic yield was assessed by evaluating the cost of expenditures (fertilizers, seeds, water, PPP treatments, etc.) in relation to sales of tomato and associated crops.

9.3.5. Assessment of pesticide residues in vegetables, water and soils

Ten samples of tomatoes fruit, water and soil were collected to analyze pesticide residues by PRIMORIS (formerly FYTOLAB, Technologiepark 2/3, 9052 Zwijnaarde, Belgium) laboratory holding a BELAC (Belgian Accreditation Council) accreditation to ISO/CEI 17025 for pesticide residues. PRIMORIS is an independent, accredited, and officially recognized service laboratory (accreditation number 057-TEST) (Toumi *et al.*, 2017). «Samples were analyzed with a multi-residue (QuEChERS) method validated by the laboratory for analysis of residues in foodstuffs, which will detect approximately 500 different active substances in a single analysis thanks to a combination of GC-MS/MS and LC-MS/MS chromatography» (Toumi *et al.*, 2017). The QuEChERS method is based on work done and published by Anastassiades *et al.*, (2003). The limit of quantification (LOQ) for almost all active substances was ≤ 0.01 mg/kg. Tomatoes were harvested on 15 plants in each plot and mixed before constituting a final sample of 1 kg which was placed in a sterile sachet with references of practices and the collection date. Water samples (1 liter) were taken from the gardening bore wells and placed in previously sterilized bottles. Ten soil samples were taken at random with auger at 1 cm depth in each plot, thoroughly mixed and sorted of vegetal debris and pebbles before constituting a final sample of 500 g which was placed in an opaque plastic

bags. All samples were sent to the Belgian lab immediately after sampling in a delay of max 3 days.

9.3.6. Risk assessment for consumers to pesticide residues

The risk of ingesting a foodstuff containing pesticide residues that exceeds the Maximum Residue Limit (MRL) is assessed in the worst case scenario by calculating the Predictable Short Term Intake (PSTI). The values obtained were compared with the Acute Reference Dose (ARfD). If PSTI is greater than ARfD, an acute intoxication risk for the group (children or adults) should be considered.

$$\text{PSTI} = \frac{(\text{U} * \text{OR} * \text{v}) + (\text{LP} - \text{U}) * \text{OR} * \text{Pf}}{\text{bw}}$$

with

U = unit (unit weight of food) in kg;

OR = observed residue, mg/kg;

v = variability factor represents the ratio of the 97.5th percentile residue to the mean residue in single units (according to U) (e.g. v= 7 if 25 < U < 250 g);

LP = highest large portion provided (97.5th percentile of eaters), in kg of food per day;

Pf = processing factor represents the ratio of the concentration of pesticide residues in the processed product to the concentration of pesticide residues in the raw product;

bw = body weight for children or adults, in kg.

The MRL values, toxicological and ecotoxicological characteristics of active substances have been collected in various databases (European pesticides database, SAGe pesticides, Agritox, INERIS, JMPR, US EPA....).

9.3.7. Statistical analyses

The results were subjected to two-way analysis of variance (ANOVA) after verification of the normality of the data (Shapiro-Wilk test) with the GenStat software, edition 11. The mean differences were compared by pair with the Tukey HSD test at 5% significance level.

9.4. Results

9.4.1. Assessment of cultural and phytosanitary practices in PP and IPM

In terms of transplanting density, 360 tomato plants were transplanted in the plots of the producer 1 (PP1) and 420 in the plots of the producer 2 (PP2) compared to only 225 plants in the IPM plots for the same surface (60 m²). In PP, insecticides were used to protect nurseries against insects like *B. tabaci* in contrast to IPM where

insect nets were preferred. The amount of chemical fertilizers (NPK and urea) and the intensity of crop protection treatments were two times higher in PP comparatively to IPM (**Table 27**).

Table 27 : Amount of fertilizers and PPP used in peasant practices (PP) and IPM plots.

Convenient	Practices	Surface (m ²)	Organic Manure (kg)	NPK (kg)	Urea (kg)	Average number of sprays
PP	PP	60	30	4	2	10.5
	T	60	50	1.5	0.5	
IPM	T+B	60	50	1.5	0.5	6
	T+G	60	50	1.5	0.5	
	T+O	60	50	1.5	0.5	

T= tomato alone; T+B = tomato with basil; T+G = tomato with garlic and T+O = tomato with onion

9.4.2. Evaluation of entomofauna

The entomofauna monitoring revealed 36 families within the three main categories, namely pests (15 families), auxiliaries (predators and parasitoids) (13 families) and pollinators (6 families) (**Table 28**). The relative abundances were represented according to previous five treatments (PP = peasant practices ; T= tomato alone; T+B = tomato with basil; T+G = tomato with garlic and T+O = tomato with onion). More insects were collected in peasant practices (25%) than in IPM plots. The lowest number was observed in the tomato + onion association (16%). The most abundant pest families were Aphididae (31%), Agromyzidae (8%), Acrididae (6%), Gelechiidae (6%), Cicadellidae (4%) and Noctuidae (3%). The important auxiliaries families are Coccinellidae (3%), Sphecidae (3%), Ichneumonidae (3%) and Reduviidae (2%). For pollinators, the most abundant families collected were Halictidae (5%) and Apidae (4%).

Table 28 : Main insect families and their relative abundance on tomato plants according to practices.

	Insect families	PP		T		T+B		T+G		T+O		Total	
		Abundance	F (%)	Abundance	F (%)	Abundance	F (%)	Abundance	F (%)	Abundance	F (%)	Abundance	F (%)
Pests	Acrididae	21	11	14	10	7	5	3	2	0	0	45	6
	Agromyzidae	16	8	11	8	8	5	21	14	3	2	59	8
	Anthomyiidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Aphididae	69	36	51	36	27	18	67	44	20	16	234	31
	Arctiidae	2	1	2	1	3	2	1	1	0	0	8	1
	Chrysomelidae	1	1	0	0	1	1	0	0	2	2	4	1
	Cicadellidae	19	10	8	6	0	0	0	0	3	2	30	4
	Coreidae	5	3	5	4	3	2	3	2	5	4	21	3
	Curculionidae	3	2	0	0	0	0	0	0	1	1	4	1
	Diopsidae	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0
	Gelechiidae	15	8	9	6	6	4	8	5	4	3	42	6

		PP		T		T+B		T+G		T+O		Total	
Insect families	Abu	F	Abu	F	Abu	F	Abu	F	Abu	F	Abu	F	
	nd	(%)	nd	(%)	nd	(%)	nd	(%)	nd	(%)	nd	(%)	
Noctuidae	4	2	5	4	7	5	1	1	8	7	25	3	
Pentatomidae	7	4	1	1	7	5	2	1	5	4	22	3	
Scutelleridae	5	3	3	2	2	1	2	1	1	1	13	2	
Tephritidae	5	3	1	1	5	3	1	1	4	3	16	2	
Total pests	173	91	110	79	76	49	110	73	57	47	526	69	
Predators	Asilidae	2	1	2	1	0	0	1	1	0	0	5	1
	Coccinellidae	2	1	2	1	7	5	6	4	7	6	24	3
	Eumenidae	2	1	1	1	4	3	0	0	1	1	8	1
	Pompilidae	0	0	5	4	2	1	2	1	2	2	11	1
	Reduviidae	5	3	1	1	3	2	3	2	1	1	13	2
	Sphecidae	0	0	5	4	7	5	6	4	4	3	22	3
	Vespidae	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	3	0
	Total predators	11	6	16	11	24	16	18	12	17	14	86	11
Parasitoids	Chalcididae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	Gasteruptionidae	2	1	1	1	5	3	1	1	0	0	9	1
	Ichneumonidae	0	0	2	1	10	6	3	2	6	5	21	3
	Mutillidae	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0
	Scoliidae	2	1	0	0	0	0	1	1	1	1	4	1
	Stephanidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Total parasitoids	7	4	3	2	16	10	5	3	8	7	39	5	
Pollinators	Andrenidae	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0
	Apidae	3	2	5	4	13	8	4	3	8	7	33	4
	Collitidae	7	4	0	0	4	3	0	0	0	0	11	1
	Halictidae	3	2	2	1	18	12	10	7	4	3	37	5
	Megachilidae	0	0	0	0	0	0	1	1	3	2	4	1
	Syrphidae	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
	Total pollinators	13	7	8	6	35	23	16	11	16	13	88	12
Other	Stratiomyidae	7	4	2	1	0	0	0	0	0	0	9	1
	Formicidae	0	0	1	1	3	2	2	1	3	2	9	1
	Total other	7	4	3	2	3	2	2	1	3	2	18	2
Total	211	100	140	100	154	100	151	100	101	100	757	100	

Abund = abundance ; F(%) = frequency) (PP = peasant practices ; T= tomato alone; T+B = tomato with basil; T+G = tomato with garlic and T+O = tomato with onion

9.4.3. Insect diversity (taxon family) according to practices

A highly significant difference ($P < 0.001$) was notice between farmers' practices and IPM in terms of pests family (Table 29). More pests were collected in peasant practices (82%) and in tomato plots without association (79%) compared to plots where tomato was associated with aromatic plants. No significant difference was noted between treatments in terms of auxiliaries abundance that were more collected in tomato plots associated with aromatic plants (Table 29). The auxiliaries

(predators + parasitoids) number was 10% that of pests in the peasant practices (PP), 17% in tomato plots without association (T), 53% in tomato + basil (T+B) association, 21% in tomato + garlic (T+G) association and 44% in tomato + onion (T+O) plots. As for pollinating insects, there is a significant difference ($P = 0.06$) between treatments. Their number was 6% in the peasant practices (PP) and in tomato plots without association in IPM, 23% in the tomato + basil association (T+B), 11% in the tomato + garlic association (T+G) and 16% in the tomato + onion association (T+O).

Table 29 : Distribution of insect types (expressed in number of families) collected in tomato plots according to practices.

Treatments	Observation number	Pests \pm SD	Predators \pm SD	Parasitoids \pm SD	Pollinators \pm SD	Others \pm SD
PP	5	34.60 ^a \pm 10.24	2.20 \pm 2.68	1.40 \pm 0.89	2.60 ^{ab} \pm 1.67	1.40 \pm 2.19
T	5	22.00 ^b \pm 5.52	3.20 \pm 3.83	0.60 \pm 0.55	1.60 ^a \pm 1.51	0.60 \pm 0.89
T+B	5	15.20 ^{bc} \pm 4.87	4.80 \pm 2.95	3.20 \pm 4.32	7.00 ^b \pm 5.24	0.60 \pm 0.89
T+G	5	22.00 ^b \pm 6.04	3.60 \pm 1.95	1.00 \pm 1.41	3.20 ^{ab} \pm 2.58	0.40 \pm 0.55
T+O	5	11.40 ^c \pm 4.56	3.40 \pm 1.14	1.60 \pm 2.07	3.20 ^{ab} \pm 1.78	0.60 \pm 0.89
P		<.001	0.66	0.40	0.06	0.74

PP = peasant practices ; T= tomato alone; T+B = tomato with basil; T+G = tomato with garlic and T+O = tomato with onion.

The results followed by the same letter in the same column are not significantly different at the 5% threshold (Tukey's test). SD = standard deviation

9.4.4. Evaluation of *B. tabaci* and *H. armigera* caterpillar populations

The results showed that plots where tomato was alone (without association) are those where *B. Tabaci* and *H. armigera* most develop and as quickly as possible (**Figure 39a & 39b**). They also showed that whatever the association, it allows to slow and decrease the development of these pests. The infestation peak of *B. tabaci* was reached at the 49th days after seedling in all treatments (**Figure 39a**). The lowest infestation level was obtained in the tomato associate to basil.

For *H. armigera* caterpillar populations (**Figure 39b**), the population peaks were recorded on the 49th day after transplanting outside the tomato + onion association where the peak was recorded at the 56th day after transplanting. The low infestation was observed in tomato plots associated to onion.

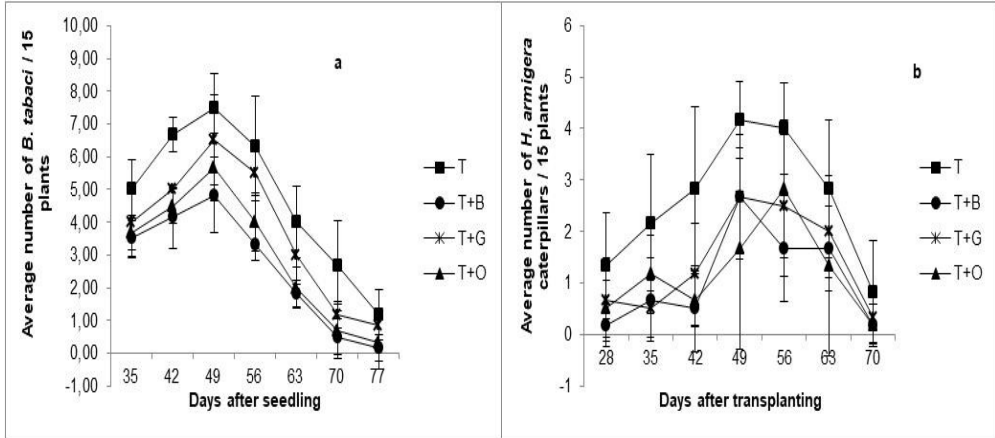


Figure 39 : Dynamics of *B. tabaci* (a) and *H. armigera* caterpillars (b) populations according to practices (T= tomato alone; T+B = tomato with basil; T+G = tomato with garlic and T+O = tomato with onion)

9.4.5. Evaluation of yields for PP and IPM practices

Analysis of variance showed a highly significant difference ($P < 0.001$) between PP and IPM in terms of production and net yield (**Table 30**). Fewer perforated fruits were obtained in the plots where tomato was associated with aromatic plants (basil, garlic, onion) than in the PP plots and those where tomato was alone. Also, the associated plots (tomato + basil, tomato + garlic and tomato + onion) yielded twice the tomato yield than PP plots and tomato without association. The best yield was obtained in the tomato + onion association ($\approx 3 \text{ kg/m}^2$ of net growth yield).

Table 30 : Average weight of healthy and perforated ripe fruit and net growth yield depending on practices in 60 m².

Treatments	Average weight of perforated fruit (kg ± SD)	Average weight of healthy fruit (kg ± SD)	Yield (kg/m ² ± SD)	Net growth yield (kg/m ² ± SD)
PP	4.87 ^c ± 0.55	22.42 ^a ± 1.40	1.71 ^a ± 0.07	1.40 ^a ± 0.09
T	2.67 ^b ± 0.28	30.75 ^b ± 4.14	2.09 ^b ± 0.26	1.92 ^b ± 0.26
T+B	1.89 ^a ± 0.20	35.88 ^{bc} ± 3.82	2.36 ^{bc} ± 0.24	2.24 ^{bc} ± 0.23
T+G	2.09 ^a ± 0.21	39.66 ^{cd} ± 3.97	2.61 ^{cd} ± 0.26	2.48 ^{cd} ± 0.25
T+O	2.31 ^{ab} ± 0.21	43.73 ^d ± 3.70	2.88 ^d ± 0.25	2.73 ^d ± 0.23
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

PP = peasant practices; T= tomato alone; T+B = tomato with basil; T+G = tomato with garlic and T+O = tomato with onion)

The results followed by the same letter in the same column are not significantly different at the 5% threshold (Tukey's test). SD = standard deviation

9.4.6. Pesticide residues identified in tomato, water and soil samples

The **Table 31** list the active substances (a.s.) found in tomato and soil samples from Kouka peasant practices collected in 2016 (denoted PP 2016) and Bobo-Dioulasso in 2017 (denoted PP 2017). All of them were insecticides. Quantification limit (LOQ) was 0.01 mg/kg for all active substances. Residues were below the LOQ in IPM samples (tomato fruit, soil and water). Sixty and ninety percent of Kouka tomato samples contain lambda-cyhalothrin and profenofos residues respectively. In the samples of Bobo-Dioulasso, 30% contained residues of chlorpyrifos-ethyl.

In soil, hundred percent of the Kouka soil samples contained profenofos residues and 30% lambda-cyhalothrin (**Table 31**). Chlorpyrifos-ethyl was found in 40% of soil samples collected from peasant plots of Bobo-Dioulasso. The DDT, which use is prohibited, has also been found in 40% of soil samples from peasant practices in Bobo-Dioulasso.

Table 31 : Residues in tomato and soil samples taken from producers plots in Kouka in 2016 (PP 2016) and Bobo-Dioulasso in 2017 (PP 2017), with their maximum residue limit for tomatoes (MRL, mg/kg), acute reference dose (ARfD, mg/kg bw), half-life time in ground in aerobic condition (TD 50 (days) adsorption coefficient on organic carbon (Koc, mL/kg) according European pesticides database (EU—Pesticides Database, 2017) and SAgE pesticides (2017).

	Average concentration of active substances in tomato samples (mg/kg) and percentage of samples affected in 10 samples				Average concentration of active substances in soil samples (mg/kg) and percentage of samples affected in 10 samples			
	PP (2016)	PP (2017)	MRL	ARfD	PP (2016)	PP (2017)	TD50 (days)	Koc (mL/g)
Acetamiprid	0.011 (10%)	<0.010 (0%)	0.5	0.1	0.016 (10%)	<0.010 (0%)	4.5	157.0
Chlorpyrifos-ethyl	<0.010 (0%)	0.036 (30%)	0.01	0.005	<0.010 (0%)	0.028 (40%)	95.5	360.0
Cypermethrin	0.014 (30%)	<0.010 (0%)	0.5	0.2	<0.010 (0%)	<0.010 (0%)	54.5	20800.0
DDT	<0.010 (0%)	<0.010 (0%)	0.05	NA	<0.010 (0%)	0.025 (40%)	2 to 15 years	172000.0
Imidacloprid	<0.010 (0%)	<0.010 (0%)	0.5	0.08	<0.010 (0%)	0.066 (10%)	336.5	41.0
Lambda-cyhalothrin	0.021 (60%)	<0.010 (0%)	0.1	0.005	0.027 (30%)	<0.010 (0%)	36.9	70100.0
Profenofos	0.111 (90%)	<0.010 (0%)	10	1	0.042 (100%)	<0.010 (0%)	7.0	869 to 3,162

NA = Not applicable

9.4.7. Risk assessment for consumers to pesticide residues

The **Table 31** shows that only chlorpyrifos-ethyl has a residual value (0.036 mg/kg) higher than its MRL for tomatoes (0.01 mg/kg). The average weight of a tomato in the samples collected in the peasant practices was assessed and equal to 0.075 ± 0.018 kg. The **Table 32** indicates that despite exceeding MRL (360%), PSTI remains below ARfD (0.005 mg/kg) for all target groups (children and adults). Therefore, there is no acute intoxication risk, neither for children nor adults who could ingest these tomatoes.

Table 32 : Characterization of the acute intoxication risk for consumers (children and adults) exposed to chlorpyrifos-ethyl residues in tomato samples taken from producers in Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

	Children	Adults
LP (P97.5, in kg/person)	0.18	0.45
Body weight (bw, in kg)	10	60
Unit weight of tomato (U, in kg data collected)	0.075	0.075
Variability factor (v)	7	7
Processing factor (Pf, default value)	1	1
PSTI (in mg/kg bw)	0.002	0.001
% ARfD	40%	20%

9.4.8. Economic profitability of different tomato cropping practices

The economic profitability of different tomato cropping practices (peasant and IPM practices) is summarized in **Table 33**. All IPM practices gave the better profit than peasant practices which recorded a loss of more than 3,000 FCFA. The best profit was obtained in the tomato + onion association with a profit of 5 times that of tomato without association.

Table 33 : Economic profitability of peasant and IPM practices in tomato production among producers on 60 m².

		PP	T	T+B	T+G	T+O
Expenses (FCFA)						
Seeds		1500	720	1520	2720	2120
Fertilizers (organic and mineral)		3690	1420	1420	1420	1420
Phytosanitary protection (inputs + treatment costs)		10800	2725	2725	2725	2725
Weekly observation of pests		0	2500	2500	2500	2500
Other charges (water, weeding, harvest) package		11750	11750	11750	11750	11750
Total	FCFA	27740	19115	19915	21115	20515
expenditure	Euro	42	29	30	32	31
Sale (FCFA)						
Tomato	Quantity (kg)	67	92	108	119	131
	Value (FCFA)	16815	23064	26909	29746	32798
Onion	Quantity (kg)	0	0	0	0	15
	Value (FCFA)	0	0	0	0	7500
Garlic	Quantity (kg)	0	0	0	3	0
	Value (FCFA)	0	0	0	3000	0
Basil	Quantity (kg)	0	0	15	0	0
	Value (FCFA)	0	0	2250	0	0
Lettuce	Quantity (kg)	15	0	0	0	0
	Value (FCFA)	7500	0	0	0	0
Sales value	FCFA	24315	23064	29159	32746	40298
	Euro	37	35	44	50	61
Profit	FCFA	-3425	3949	9244	11631	19783
	Euro	-5	6	14	18	30

PP = peasant practices; T= tomato alone; T+B = tomato with basil; T+G = tomato with garlic and T+O = tomato with onion

9.5. Discussion

9.5.1. Assessment of cultural and phytosanitary practices

The observation of cultural peasant practices revealed the use of pests-sensitive varieties, a high density of transplanting and an excessive use of nitrogen fertilizers compared to IPM. The excessive use of mineral fertilizers by producers in vegetable production has been reported by Atidegla *et al.* (2017) in Benin. Poor practices make plants more susceptible to diseases (bacterial wilt, root rot, ...) and to pests (whiteflies and mites) (Nicot *et al.*, 2012; Raynal *et al.*, 2014). This may partly explain the intensification of phytosanitary treatments observed in peasant practices (Son *et al.*, 2017b).

9.5.2. Pests infestation and tomato yield in PP and IPM

More pests have been observed in peasant practices and in the tomato plots without association compared to plots where tomato was associated to basil, garlic or onion. Results confirm previous observations showing a clear relation between

the diversification of plants in the same plot and a depressed development of the pest populations and an increased presence of their natural enemies (Letourneau *et al.*, 2011; Parker *et al.*, 2013). Several authors (Auger *et al.*, 2002; Rhino *et al.*, 2014; Khafagy, 2015) reported that aromatic plants contain volatile compounds that can disrupt the development of the pest and promote the growth of the host plant.

The first overgrowth of whiteflies and other pests was observed from the second to the third week after transplanting. The peak coincides with the period of tomato vegetative development when populations of whiteflies, aphids and *Liriomyza sp.* are important. Our results corroborate those of Nzi *et al.* (2010), who observed an overgrowth of whiteflies on the tomato during this period. The second peak was observed between the 35th to 56th day after transplanting, a period corresponding to the flowering-fruiting of tomato and to outbreaks of *H.armigera* and *T. absoluta*. Our results are in line with those of Adje *et al.* (2009) who observed a high overgrowth of *H. armigera* between the 40th and 60th day after transplanting.

For yields, the best results were obtained in the plots where tomato was associated with aromatic plants. This shows that a good diversification of plants in the same plot, coupled with the respect of good cropping (transplanting density, fertilization) and phytosanitary (use of pesticides recommended at the right times) practices, make it possible to control pests and to obtain interesting yields (Poveda *et al.*, 2008).

9.5.3. Pesticide residues in tomatoes and risk for consumers

Pesticide residues were found in several samples of tomatoes and soils. This could be due to the use of pesticides that are not recommended to be used in vegetable production such as cotton pesticides who have a high concentration of active substances and a high persistence in vegetables, or non-observance of doses recommended and pre-harvest delay (Ahouangninou *et al.*, 2011; Son *et al.*, 2017b). Pesticides residues sometimes exceeding MRLs have also been found in vegetables by other authors in Burkina Faso and other countries (Bempah *et al.*, 2011; Lehmann *et al.*, 2017). The pesticide residues levels measured in soil were found higher than residues in fruits. This can be explained by the fact that soil is directly exposed to pesticides and 10 to 70% of pesticide loss could reach the soil during a foliar spraying (Aubertot *et al.*, 2005). The fact of finding DDT residues in the soil that was not used by producers, explains the previous pollution of some soils of Burkina Faso by pesticides with a very high TD50.

No pesticide residues above the limit of quantification were found in the water samples. This could be explained by the high Koc values of the pesticides used by producers. Indeed, when Koc is high, the transfer of pesticides into the soil is limited and the potential for groundwater contamination is lower (Arias-Estévez *et al.*, 2008). Our results are in line with those of Del Prado-Lu (2015) who found no pesticide residues on 26 water samples analyzed and explained this by the high Koc of active substances used by producers.

The risk assessment of consumers' exposure to pesticide residues by PSTI method shows that, despite a high concentration of chlorpyrifos-ethyl in tomatoes (360% of

MRL), there is no acute intoxication risk, neither for children nor adults. However, continuous consumption of fruits with high pesticide residues concentrations could lead to adverse effects on human health. Once ingested, chlorpyrifos passes rapidly from intestines to bloodstream where it is distributed to the rest of body (ATSDR, 1997). Chlorpyrifos affects the nervous system by inhibiting the activity of cholinesterase, an enzyme necessary for the proper functioning of the nervous system regardless the absorption pathway or duration of exposure (US-EPA, 2000).

9.6. Conclusion

The result as reported herein showed that the application of recommended farming practices and integrated pest management strategies can allow the reduction of plant protection products used in tomato crops compared to usual peasant practices in Burkina Faso which have been characterized by high transplanting densities, excess and misuse of nitrogen fertilizers and pesticides. In terms of pest infestation and yields, results demonstrate the interest of aromatic plants associated with tomato: the yields and profitability are increased. Additionally, these better practices can reduce the exposure of the producer to pesticides and lead to a higher level of protection for the consumer health and the environment.

In particular, the tomato-onion association raised not only the best yield and but also the best economic performances. These two speculations being the most cultivated in Burkina Faso, the acceptability by the producers of such an association could be easily integrated due to its good sustainability. However, in order to implement the integrated pest management strategies, it will be crucial for sustainable success to train the producers on good practices, identification of pests, efficacy and selectivity of pesticides and their choice according to the targets, the number of auxiliaries and the economic threshold.

9.7. Acknowledgements

This study was conducted with the financial support of ARES-CDD (PIC Project “Projet de renforcement des capacités de diagnostic et de gestion intégrée des problèmes phytosanitaires au Burkina Faso », UCL-ULg-IDR/UNB).

We would like to thank Professor Frédéric FRANCIS, head of Functional and Evolutionary Entomology laboratory in Gembloux Agro-Bio Tech and his team for supporting us in the determination of tomato entomofauna of Burkina Faso. Our thanks also go to all those who contributed to correct English, especially Professor Georges LOGNAY of Gembloux Agro-Bio Tech.

**Partie V : Discussion générale,
conclusion, recommandations et
perspectives**

Chapitre 10

Discussion générale

10.1. Diversité et spécificité de l'entomofaune en culture de tomate au Burkina Faso

L'étude sur l'entomofaune de la tomate montre une diversité des familles d'insectes collectées dans les champs de tomate en fonction des sites et des années de collecte. L'indice de diversité de Shannon qui a varié de 1,80 (site de Kouka-2015) à 2,99 (site de Kodéni-2017) reste supérieur à celui obtenu par Bayendi Loudit *et al.* (2017) sur le chou (indice de 0,83), mais inférieur à celui obtenu par Yarou *et al.* (2017a) sur le basilic (indice de 3). La diversité importante de familles d'insectes sur le basilic tropical (*Ocimum gratissimum* L.) pourrait s'expliquer par l'état phénologique de la plante. En effet, le basilic est une plante qui fleurit plus que la tomate et ses fleurs auraient attiré un nombre important d'insectes comme le souligne une étude similaire effectuée au Brésil sur *Ocimum selloi* Benth (Köhler *et al.*, 2012).

Outre *Bemisia tabaci* (Gennaduis) et *Helicoverpa armigera* (Hubner) qui sont signalés comme les principaux ravageurs de la tomate au Burkina Faso (Konaté *et al.*, 1995; Gnankiné *et al.*, 2013), l'inventaire de l'entomofaune de la tomate a permis de mettre en exergue la présence d'autres ravageurs importants sur cette culture. Il s'agit notamment d'*Utetheisa pulchella* L., et surtout de *Tuta absoluta* Meyrick dont la présence est signalée pour la première fois au Burkina Faso. L'apparition récente de cette mineuse de la tomate (*T. absoluta*) dans de nombreux pays de l'Afrique subsaharienne y compris le Burkina Faso pourrait être liée aux échanges commerciaux de végétaux (Pfeiffer *et al.*, 2013). En effet, dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest, le contrôle au niveau des frontières par les services phytosanitaires n'est pas toujours efficace, faute de matériel adéquat dans certains cas. Ceci favorise sans aucun doute l'entrée et la dispersion sur d'autres territoires de nouveaux organismes nuisibles. Ainsi, l'un des plus gros pays importateurs de la tomate burkinabè (le Ghana) vient de signaler en 2017 la présence de *T. absoluta* sur son territoire (IPPC, 2017).

Parmi, les insectes auxiliaires identifiés, ceux de la famille des Braconidae, Coccinellidae, Ichneumonidae, Pompilidae, Reduviidae et Sphecidae pourraient être testés dans le cadre d'une lutte intégrée en culture de tomate au Burkina Faso. *Rhynocoris rapax* (Stal) de la famille des Reduviidae, est signalée comme prédatrice des jeunes chenilles de *Helicoverpa armigera* (Poutouli *et al.*, 2011), alors qu'elle a été observée dans tous les sites étudiés. En Ethiopie, *Charops spinatarsis* de la famille des Ichneumonidae a été observé sur les chenilles de *Helicoverpa armigera* (FAO, 2012b). Au Sénégal, deux prédateurs potentiels (*Nesidiocoris tenuis* Reuter et *Orius* sp.) et trois parasitoïdes larvaires (*Apanteles* sp, *Chelonus* sp, *Meteorus* sp) de *Tuta absoluta*, ont été identifiés par Sylla *et al.* (2015). Il se pourrait que des antagonistes de *T. absoluta* figurent parmi les familles d'insectes collectés au Burkina Faso. En matière de lutte biologique contre *Bemisia tabaci*, un taux de parasitisme de plus de 50% de ses larves par *Encarsia* sp. et *Eretmocerus* sp. a été observé au champ en culture de coton au Burkina Faso (Gnankiné *et al.*, 2004; Gnankiné *et al.*, 2005).

Moins d'insectes auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes) ont été collectés au cours de cette étude comparativement aux ravageurs. Cela pourrait s'expliquer d'une part, par le type de piégeage effectué et d'autre part, par l'effet des pesticides sur les insectes utiles. Pour l'inventaire de l'entomofaune de la tomate, deux méthodes ont été utilisées : les bacs jaunes à eau et les pièges à phéromone sexuelle de *T. absoluta*. L'abondance et la diversité des familles d'insectes ainsi inventoriés sur la tomate pourraient être influencées par ces types de collecte. En effet, les pièges jaunes à eau, bien qu'ayant une attractivité sur plusieurs insectes de par leur couleur, ont une spécificité élevés vis-à-vis de certains insectes tel que les pucerons, les aleurodes, les thrips et les coléoptères (Villenave., 2007; Yattara et Francis., 2013; Bosquée *et al.*, 2014). Quant aux pièges à phéromone sexuelle utilisés, ils étaient très spécifiques pour *T. absoluta*. Ces deux méthodes auraient pu être discriminantes pour certaines familles d'insectes ou stades de développement des insectes. D'autres méthodes de collecte comme le battage, le fauchage, le piège Barber, les pièges lumineux et des observations directes sur les plantes (Chougourou *et al.*, 2012; Mailafiya *et al.*, 2014; Ofori *et al.*, 2014; Diatté *et al.*, 2016) auraient pu permettre d'obtenir une diversité plus exhaustive de l'entomofaune.

Par rapport à la sensibilité des insectes aux pesticides, il faut noter que les ravageurs et leurs auxiliaires n'ont pas les mêmes sensibilités et il se peut que les pesticides utilisés par les producteurs aient un effet négatif plus marqué sur les insectes auxiliaires. Les études de Rafalimanana (2003) ont montré que la lambda-cyhalothrine (substance active la plus utilisée en production maraîchère au Burkina Faso) entrave jusqu'à deux semaines le niveau d'infestation et de colonisation des pucerons par les parasitoïdes. Ce retard d'apparition des insectes auxiliaires dans les parcelles traitées pourrait s'expliquer, soit par la toxicité et l'action directe des pesticides sur l'activité des auxiliaires qui sont exposés au produit pulvérisé et aux résidus sur le feuillage ou dans la nourriture contaminée (nectars, pollens, exsudats foliaires), soit par la formulation utilisée (les formulations concentrées émulsionnables se montrent plus toxiques pour les auxiliaires que d'autres formulations comme les granulés ou les suspensions concentrées) (Langley et Stark., 1996), soit par l'action répulsive des pesticides sur la faune utile comme cela a été montré pour l'abeille avec les pyrethriinoïdes (Demolis, 1992, cité par Rafalimanana, 2003). Plus de 60% des pesticides utilisés par les producteurs en culture de tomate au Burkina Faso étant dominés par les formulations liquides et appartenant à la famille des pyrèthriinoïdes, il se peut que ces produits aient un effet négatif sur les populations d'insectes auxiliaires.

Afin d'écartier toute ambiguïté, la collecte d'entomofaune de la tomate devrait s'effectuer sur des parcelles isolées d'autres cultures et sans traitement phytosanitaire et sur une longue période tout en prenant en compte les saisons et les différentes zones agro-écologiques du pays. Cela permettrait d'établir une dynamique spatio-temporelle de la colonisation de la tomate par les insectes. De plus, l'identification jusqu'au niveau taxonomique de l'espèce serait nécessaire pour évaluer la diversité au sein même des familles et de statuer sur le rôle fonctionnel de chaque espèce, mais aussi pour pouvoir adapter les schémas de protection des cultures en fonction des ravageurs et des auxiliaires effectivement présents.

10.2. Influence des pratiques phytosanitaires en culture de tomate au Burkina Faso et des pesticides utilisés sur l'efficacité du contrôle des bioagresseurs

Pour favoriser l'établissement, le maintien et le développement de ces auxiliaires, les bonnes pratiques culturales (association des cultures, aménagement des zones de refuges à proximité des parcelles de production, ...) et phytosanitaires (utilisation de : produits sélectifs, produits à faible rémanence permettant un retour rapide des auxiliaires, traitements localisés avec les produits systémiques et au bon moment) doivent être adoptés par les producteurs. Malheureusement dans les enquêtes réalisées sur les pratiques phytosanitaires est apparue une mauvaise utilisation des pesticides pour la protection phytosanitaire de la tomate au Burkina Faso (utilisation des pesticides chimiques non sélectifs et hautement toxiques tels que ceux réservés pour la production cotonnière, un non-respect des doses prescrites et du calendrier de traitement, un non-respect des règles d'hygiène conseillées lors des traitements phytosanitaires et une élimination inadéquate des restes de produits et des emballages vides).

Parmi les pesticides recensés, ceux appartenant à la famille chimique des pyréthrinoïdes sont les plus utilisés (67%). Cette utilisation successive et intensive des pesticides de la même famille conduit au développement de la résistance chez les ravageurs. Malheureusement, aucune étude dans ce sens n'a été conduite en production maraîchère au Burkina Faso, alors que plusieurs auteurs ont signalé la résistance des principaux ravageurs de la tomate (*H. armigera*, *B. tabaci* et *T. absoluta*) vis-à-vis des pyréthrinoïdes en culture de coton et sur les cultures maraîchères dans d'autres pays (Martin *et al.*, 2005; Achaleke et Brévault, 2009; Abou-Yousef *et al.*, 2010; Houndété *et al.*, 2010; Gnankiné *et al.*, 2013; Tendeng *et al.*, 2015). Il serait dès lors opportun d'identifier si les populations de certaines espèces de bioagresseurs en culture de tomate au Burkina Faso sont résistantes aux pesticides utilisés à travers des dosages biochimiques des enzymes associées au mécanisme de résistance, comme les estérases, les cytochromes P-450 et les glutathion-S-transférases (Haubruge et Amichot., 1998).

Outre le risque de développement de la résistance chez les ravageurs, les mauvaises pratiques phytosanitaires conduisent à l'intoxication des applicateurs aux pesticides, à l'exposition des consommateurs aux résidus de pesticides présents dans les produits récoltés et à la pollution de l'environnement (contamination des points d'eau, sols et air) au regard des résultats obtenus sur la dépendance et l'exposition des producteurs aux pesticides et sur la contamination des tomates et sols par les résidus de pesticides (**annexe 1**).

Pour éviter la résistance des ravageurs aux pesticides, en plus d'alterner les substances actives homologuées pour les cultures maraîchères, le respect des doses recommandées et du nombre d'applications, il faudra promouvoir les pratiques agro écologiques (utilisation des variétés résistantes, aménagement des zones de refuge pour les auxiliaires, rotation des cultures, ...) qui pourraient permettre de limiter l'impact des ravageurs (Landis *et al.*, 2000; Bianchi *et al.*, 2006). L'association des

cultures pourrait aussi jouer un rôle très important en matière de lutte contre les ravageurs, car dans l'essai de lutte intégrée mené au cours de cette études, les résultats ont montré que l'association tomate-oignon ou tomate-basilic, permet de réduire l'infestation des parcelles par les ravageurs. Des essais d'association de basilic (*Ocimum basilicum* et *O. gratissimum*) avec la tomate ou le chou ont pu montrer que la présence de ces plantes aromatiques sur les parcelles permettre de réduire significativement l'activité de ponte de *T. absoluta* sur la tomate et l'abondance d'*Hellula undalis* sur chou (Yarou *et al.*, 2017b; Yarou *et al.*, 2017c). Combiné, l'ensemble de ces pratiques dans une stratégie de lutte intégrée, permettra sans doute de minimiser l'utilisation des insecticides de synthèse et par conséquent de réduire les problèmes de résistances au sein des populations des ravageurs.

10.3. Impact des pratiques phytosanitaires des producteurs de tomate sur la santé humaine et sur l'environnement au Burkina Faso

Les enquêtes réalisées et le suivi rapproché sur les pratiques phytosanitaires, montre une forte dépendance des producteurs aux pesticides de synthèse avec un minimum de 10 traitements phytosanitaires par cycle de production. Toutes les substances actives utilisées hormis l'acétamipride et la cyperméthrine, ont présenté des risques d'exposition plusieurs fois plus élevés que le niveau d'exposition reconnu comme acceptable pour l'opérateur (AOEL). La lambda-cyhalothrine et le profénofos qui ont été les plus utilisées d'après nos observations, sont-elles qui ont présenté plus de risque pour l'opérateur. La lambda-cyhalothrine présente une toxicité aiguë élevée pour la santé humaine (classée T+ ; perturbateur endocrinien). A court terme, elle est neurotoxique (ataxie, tremblements, convulsions occasionnelles), mais à long terme, elle n'est pas cancérigène et n'a aucun effet sur la reproduction et le développement, mais favorise plutôt une diminution du gain de poids corporel (JMPR, 2007a; INERIS, 2011). Quant au profénofos, les effets indésirables qu'il pourrait causer en cas de dépassement des seuils d'utilisation sont l'irritation de la peau et des yeux et l'inhibition de l'activité de l'acétylcholinestérase du cerveau (JMPR, 2007b). Une fois ingéré, il est largement distribué dans le corps, mais son potentiel d'accumulation est faible car le taux d'excrétion est de 94% dans l'urine dans les 24 heures.

La forte exposition des producteurs aux pesticides est liée en grande partie au non-respect des règles de sécurité conseillées lors des traitements phytosanitaires (port d'équipements de protection adéquats). Une étude conduite chez les citronniers américains a révélé que l'exposition cutanée serait réduite de 27% par l'utilisation de gants, de 38% par des combinaisons et 65% à l'aide des gants et des combinaisons (Nigg *et al.*, 1986). Aussi, l'analphabétisme (70% de producteurs ne savent pas lire) contribue à l'exposition des producteurs aux pesticides, car ne sachant pas lire, ni écrire, la compréhension et le respect des informations mentionnées sur les étiquettes (dose à appliquer, consignes de sécurité, etc.) restent forcément limités. En effet, plus, l'opérateur a un niveau d'éducation et de formation élevée, plus l'exposition diminue par application des consignes de sécurité liés à l'utilisation du

produit (Colosio *et al.*, 2009; Lebailly *et al.*, 2009). Il est donc nécessaire de sensibiliser et de former davantage les producteurs sur les consignes de sécurité et sur l'importance de l'usage des moyens de protection lors des traitements phytosanitaires pour leur propre santé.

Les échantillons de tomates, d'eaux et de sols prélevés auprès des producteurs des communes de Bobo-Dioulasso et de Kouka et analysés au laboratoire, se sont révélés positif aux résidus de chlorpyrifos-éthyl, de la lambda-cyhalothrine et au profénofos hormis les échantillons d'eau (**Annexe 1**). L'intensification des traitements chimiques (minimum 10 traitements par cycle de production de la tomate) et le non-respect des doses recommandées (surdosage) et des délais avant récolte pourraient expliquer la présence de ces résidus dans les fruits de tomates. Parmi ces résidus de pesticides présents dans les fruits de tomate, seule la valeur du chlorpyrifos-éthyl était supérieure à la Limite Maximale de Résidus (LMR) sur la tomate selon les normes de l'union européenne. Cependant en dépit du dépassement significatif de la LMR (360%), le Predictable Short Term Intake (PSTI) reste inférieur à la dose de référence aiguë (ARfD de 0,005 mg / kg) pour tous les groupes cibles (0,002 mg / kg pour les enfants et 0,001 mg / kg pour les adultes). Par conséquent, le risque d'intoxication aiguë n'est à craindre, ni pour les enfants ni pour les adultes qui pourraient consommer ces tomates contenant des résidus de cette molécule. Cependant la consommation continue de ces fruits avec ce niveau de résidus de pesticides pourrait entraîner à long terme des effets néfastes chroniques sur la santé humaine, car une fois ingéré, le chlorpyrifos-éthyl passe rapidement des intestins à la circulation sanguine, où il est distribué au reste du corps (ATSDR, 1997 ; Albers *et al.*, 1999 ; Samuel *et al.*, 2002).

La contamination des sols par les résidus de pesticides pourrait avoir un négatif sur les vers de terre et autres organismes du sol qui assurent des fonctions agro-écologiques importantes. Ce qui aura un impact négatif sur la fertilité des sols. Gountan (2013) constate dans un champ de tomate au Burkina Faso, une réduction de 62% de la densité des termites par exposition à la lambda-cyhalothrine et une réduction de 40% de la densité totale des autres groupes de la macrofaune par exposition au chlorpyrifos-éthyl. On doit donc faire particulièrement attention aux effets nocifs des produits phytosanitaires sur la microflore du sol, laquelle est essentielle au maintien de la fertilité.

L'absence de détection des résidus de pesticides supérieure à la limite de quantification (LOQ de 0,01 mg/L) dans les échantillons d'eaux provenant des puits maçonnés pourrait s'expliquer par la faible mobilité des substances actives utilisées (lambda-cyhalothrine, acétamipride, cyperméthrine et profénofos) qui ont des valeurs de Koc élevées. En effet, plus le Koc est élevé, plus le mouvement du composé est limité dans le profil du sol, de sorte qu'il y a moins de potentiel pour la contamination des eaux souterraines (McCall *et al.*, 1980 ; Arias-Estévez *et al.*, 2008). Cette observation rejoint celle de Lehmann (2017) au Burkina Faso qui indique que l'eau des puits qui descend dans la nappe phréatique profonde est moins contaminée par les résidus de pesticides comparativement à celle des autres puits moins profonds ou des retenues d'eau.

Parmi les substances actives retrouvées dans les tomates et dans les sols, plus de 80% sont utilisés par les maraîchers selon les résultats des enquêtes et selon d'autres auteurs (Oyono Ele, 2008 ; Congo, 2013 ; Lehmann *et al.*, 2017). Ce qui témoigne de l'impact des pratiques phytosanitaires des maraîchers sur la qualité des légumes et sur l'environnement. Le DDT, dont l'utilisation est interdite, a également été trouvé dans 40% des échantillons de sol provenant des pratiques paysannes de Bobo-Dioulasso, montrant ainsi la circulation des pesticides obsolètes au Burkina Faso et probablement la persistance de ce composé dans les sols.

Aucune substance active supérieure à la limite de quantification (LOQ de 0,01 mg/kg) n'a été trouvée dans les échantillons de tomate et de sols provenant des parcelles où les pratiques IPM ont été appliquées, montrant ainsi l'importance de l'application de bonnes pratiques agricoles en production maraîchère.

10.4. Stratégies de lutte intégrées en production de tomate au Burkina Faso

En raison des problèmes environnementaux et de santé de population des humaines liés à l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse, des stratégies de lutte intégrée basé d'une part sur la combinaison des biopesticides (BIO K 16, HN et Piol) avec les pesticides chimiques dans la lutte contre les ravageurs de la tomate et, d'autre part, sur les associations culturales de la tomate avec les plantes répulsives (basilic, ail et oignon) ont été proposées. Ces stratégies de lutte combinée aux bonnes pratiques agricoles, ont permis de réduire la pullulation des ravageurs et par conséquent une réduction de l'utilisation des pesticides chimiques. Au niveau des essais sur les biopesticides, l'utilisation du BIOC K 16 (*Bacillus thuringiensis*) en alternance avec un insecticide peu toxique (ACARIUS 18 EC à base d'abamectine), a permis d'avoir à la fois la meilleure protection des fruits contre les chenilles de *H. armigera* et le rendement le plus élevé (2 kg /m²) comparativement au témoin non traité et aux autres biopesticides en alternance avec abamectine. Ceci pourrait être dû à l'efficacité du Bt contre les chenilles de la tomate (Mazollier, 2001).

Les associations culturales de la tomate avec les plantes répulsives, ont permis d'obtenir les meilleurs résultats en termes de contrôle de ravageurs et de rendement avec une faible utilisation d'engrais azotés et de produits phytosanitaires par rapport aux pratiques paysannes. Ce démontre qu'une diversification des plantes dans la même parcelle couplée aux respects des bonnes pratiques agricoles (utilisation des variétés résistantes, protection de la pépinière, respect de densité de repiquage et de fertilisation, utilisation des pesticides recommandés et à la bonne période) permet de contrôler les bioagresseurs et d'assurer des rendements adéquats (Kenny et Chapman, 1988; Poveda *et al.*, 2008). En effet, lorsque les plantes sont diversifiées sur une même parcelle, les ravageurs ont davantage de difficultés à localiser leur hôte. Cette situation, est généralement dû aux composés volatiles qu'émettent certaines plantes, et qui peuvent masquer celles de la plante hôte empêchant ainsi le ravageur de reconnaître sa plantes hôte (Bruce *et al.*, 2005; Bruce et Pickett, 2011). Par ailleurs cette diversité de cultures sur les parcelles, favoriserait aussi la présence

d'ennemis naturels au sein de la parcelle (Perrin et Phillips, 1978; Hooks et Johnson, 2003; FAO, 2012; Parker *et al.*, 2013).

L'association tomate-oignon a fourni à la fois la meilleure protection des fruits et le rendement le plus élevé (3 kg / m²). Ces deux spéculations étant les principales cultures maraîchères du Burkina Faso, l'acceptabilité de cette combinaison dans la même parcelle par les producteurs pourrait être intégrée facilement. Cependant, pour que ces stratégies de lutte intégrée puissent avoir du succès auprès des producteurs, il s'avère nécessaire de les former sur les bonnes pratiques agricoles, sur la reconnaissance des bioagresseurs, sur la notion de seuil et sur le choix et l'application des pesticides en fonction de la cible et du seuil d'intervention. D'où le rôle de la Clinique des plantes de l'Institut de Développement Rural (IDR, Burkina Faso).

Chapitre 11

Conclusion générale, suggestions et perspectives

11.1. Synthèse des principaux acquis de la thèse

D'importantes raisons économiques et sociales expliquent la production croissante de la tomate au Burkina Faso. Cependant, cette production connaît de nombreuses difficultés dont la pression parasitaire est la principale. En effet, les attaques des ravageurs entraînent d'énormes pertes de production et par conséquent, une diminution des revenus pour les maraîchers. Pour garantir ainsi cette activité économiquement rentable, l'usage des pesticides de synthèse reste souvent le seul recours pour les producteurs. Cependant, l'usage de ces produits (dont certains sont souvent prohibés) sans un minimum de respect de bonnes pratiques agricoles pose à long terme des problèmes sanitaires et environnementaux. C'est dans ce contexte que cette étude a été initiée afin d'évaluer les risques liés à l'usage des pesticides de synthèse et les stratégies de lutte intégrée à mettre en œuvre pour réduire l'utilisation des pesticides en production de tomate au Burkina Faso.

L'objectif de cette thèse était de contribuer à la mise en place d'une gestion intégrée des principaux ravageurs de la tomate au Burkina Faso en s'intéressant, dans un premier temps, à l'évaluation de l'entomofaune de la tomate, aux pratiques actuelles des maraîchers du Burkina Faso ainsi qu'aux risques associés et aux conséquences déjà observables de ces pratiques phytosanitaires et, dans un second temps, à la mise au point de stratégies nouvelles, permettant une réduction de l'utilisation des pesticides pour la protection de la tomate au Burkina Faso.

L'étude concernant l'entomofaune de la tomate a permis de mettre en exergue la présence d'autres ravageurs importants sur la tomate (*Utetheisa pulchella* et *Tuta absoluta*) en plus de *Bemisia tabaci* et de *Helicoverpa armigera* qui sont signalés comme les principaux ravageurs de la tomate au Burkina Faso. Cette étude a permis également d'identifier des familles d'insectes auxiliaires (Braconidae, Coccinellidae, Ichneumonidae, Pompilidae, Reduviidae et Sphecidae) pouvant être testés dans le cadre d'une lutte intégrée en culture de tomate au Burkina Faso.

Malheureusement, les résultats de l'étude portant sur les pratiques phytosanitaires des producteurs montrent que la plupart des méthodes de lutte pratiquées par les agriculteurs pour garantir leur production, reposent sur le traitement chimique avec parfois des produits prohibés, alors que cette méthode n'est pas le seul moyen pour combattre les ennemis des cultures. Au contraire, elle engendre des effets néfastes sur la santé publique et sur l'environnement. Elle modifie également l'équilibre écologique dans les cultures par son impact sur l'action des insectes auxiliaires et contribue aussi au développement de la résistance chez les ravageurs. Il ressort de cette partie de notre étude que beaucoup de producteurs sont analphabètes et que nombre d'entre eux ne sont pas au courant de l'importance des ennemis naturels dans le maintien de l'équilibre biocénétique des cultures maraîchères et ignorent les méthodes qu'ils pourraient adopter pour favoriser le maintien et l'action de ces auxiliaires.

Dans le cadre de la recherche, des stratégies permettant une réduction de l'utilisation des pesticides en protection de tomate au Burkina Faso, ont été

envisagées. Ainsi, la possibilité d'intégrer à la culture de la tomate d'autres espèces cultivées (*Allium cepa* L., *Allium sativum* L., et *Ocimum basilicum* L.) dans la gestion des insectes ravageurs de la tomate a été explorée et a donné des résultats encourageants. L'association de la tomate avec ces plantes aromatiques aurait un effet bénéfique pour le producteur, non seulement en termes d'accroissement de rendement grâce, à la réduction des populations de ravageurs, mais aussi de revenus complémentaires par la commercialisation des plantes associées.

De plus, dans le cadre spécifique de la lutte intégrée contre la mineuse de la tomate, l'action de ces plantes aromatiques pourrait être complétée par des piègeages de masse des mâles à l'aide de phéromones sexuelles. Cela permettrait déjà de réduire les accouplements, et par conséquent, le nombre de pontes et l'importance des dégâts sur les plantes de tomate. L'aménagement des habitats à proximité des parcelles de cultures de tomate pouvant permettre l'établissement des ennemis naturels de cette mineuse pourraient aussi contribuer à l'atteinte d'une meilleure protection de la culture de tomate par leur action sur les œufs et les larves.

La production maraîchère au Burkina Faso étant basée encore sur un système de culture traditionnelle du fait de la faible capacité des agriculteurs à adopter les nouvelles techniques, son évolution vers la lutte intégrée n'est possible que par des efforts de sensibilisation, de formation et de vulgarisation de bonnes pratiques agricoles auprès des producteurs et du respect des recommandations ci-dessous formulées.

11.2. Limites de la thèse

La thèse, qui a permis de mettre en évidence de mauvaises pratiques phytosanitaires adoptées par les producteurs de tomate du Burkina Faso avec des risques liés pour la santé humaine et pour l'environnement, présente plusieurs limites.

La première limite se situe essentiellement au niveau du caractère partiel de l'enquête sur les pratiques : elle s'est concentrée plus spécialement sur une zone de production de tomate au Burkina Faso (la zone Ouest) et elle n'a pas pu prendre en compte certains paramètres économiques et sociaux qui peuvent influencer la pullulation des bioagresseurs et l'utilisation des pesticides non recommandés en production maraîchère.

La seconde limite tient à la méthode d'investigation utilisée : même s'il y a eu un recoupement partiel de l'information collectée auprès de certains producteurs enquêtés par un suivi rapproché de leurs pratiques phytosanitaires sur le terrain, les résultats des interviews pourraient ne pas toujours correspondre à la réalité (les producteurs pouvant affirmer ce qu'ils auraient dû faire et non ce qu'ils ont réellement fait).

La troisième limite concerne le faible effectif des échantillons de tomates, d'eaux et de sols collectés pour les analyses des résidus de pesticides. L'échantillonnage a du se limiter à deux communes du Burkina Faso, localisées dans la zone de production de la tomate.

Enfin, suite aux difficultés rencontrées, au manque de moyens financiers et à l'impact des maladies fongiques dans les parcelles d'essai, le nombre de modalités de « lutte intégrée » qui ont pu être valablement et complètement testées est resté trop limité par rapport à nos ambitions initiales. Il sera donc nécessaire de poursuivre le travail avec des répétitions dans le temps (saison sèche et humide) et dans l'espace (plusieurs sites), et nous suggérerons ci-après une série de pistes qui restent à explorer à l'avenir pour développer des schémas plus complets de lutte intégrée en tomate.

11.3. Suggestions pour le développement de la lutte intégrée en tomate

Au regard de la capacité dévastatrice des ravageurs et particulièrement *Tuta absoluta* en culture de tomate au Burkina Faso et des impacts négatifs des pesticides sur la santé humaines, sur l'environnement, sur les ennemis naturels et sur le développement de la résistance chez les ravageurs, des mesures idoines devraient être prises et intégrées dans le cadre d'un « Plan d'action national », visant à promouvoir une production durables des produits horticoles au Burkina Faso. Pour atteindre cet objectif, les principes fondamentaux ci-dessous de la lutte intégrée doivent être adaptés à la tomate (Schiffers et Wainwright., 2011; FAO, 2012b; Badiane *et al.*, 2015) :

Principe 1 : La semence ou le matériel de plantation (plants) étant le fondement de la production de cultures maraîchères saines et vigoureuses, le choix des variétés de tomate résistantes ou tolérantes (aux maladies) et des semences de bonne qualité en fonction des bioagresseurs présents dans la zone doit être approprié. En effet, la connaissance des caractéristiques de la variété à utiliser permet d'évaluer sa sensibilité par rapport aux bioagresseurs présents dans la zone. Les semences de tomate étant souvent importées de l'étranger, les caractéristiques variétales ne correspondent pas nécessairement au contexte phytosanitaire local. Une sélection variétale locale doit être encouragée.

Principe 2 : Le précédent cultural dans la rotation est fondamental pour réduire la pression phytosanitaire. Il faudra vérifier toujours la plantation dans des parcelles exempts des pathogènes du sol tel que les nématodes, les conidies des champignons, les bactéries.

Principe 3 : Le stade de la pépinière étant la partie critique pour assurer une bonne production et un bon état phytosanitaire de la culture, il est important d'établir les pépinières dans un sol exempt de ravageurs / maladies pour favoriser le développement des plantules. L'introduction des techniques de pépinière hors sol et leur protection avec les filets anti-insectes doit être recommandée aux producteurs, car ce sont des techniques appropriées à l'obtention d'un matériel végétal sain et vigoureux, garantie de succès pour la suite de la culture. En plus, ces techniques ont de nombreuses répercussions favorables : précocité, raccourcissement du cycle et donc diminution de l'incidence de certaines maladies ou d'attaques des ravageurs.

Principe 4 : Repiquer les plants avec des écartements appropriés, pour éviter une densité de peuplement excessive qui entrave le développement de la culture et crée un environnement humide, favorable à l'apparition des maladies. Aussi, la forte densité de repiquage constitue une zone de refuge aux ravageurs et empêchent les pesticides de les atteindre.

Principe 5 : Planifier la plantation des cultures de manière à éviter les périodes de prévalence des ravageurs et des maladies dans le champ. Coordonner les dates de plantation au niveau du site de production pour empêcher le passage des ravageurs entre les cultures ou pour préserver une période de repos saisonnier.

Principe 6 : Adopter les bonnes pratiques de conservation de sol (amender la terre avec un compost ou un engrais organique bien décomposé et de qualité, recouvrir le sol avec du paillis) et de gestion hydrique pour favoriser une bonne croissance des plantes. Eviter les excès de fertilisation azoté qui fragilisent et rendent les plantes plus attractives aux ravageurs et au développement des maladies. Irriguer régulièrement les plantes en fonction de leurs besoins tout en évitant les excès, car une humidité persistante en excès accentue l'action des champignons et des bactéries qui ont souvent besoin d'une longue période d'humidité pour pénétrer dans la feuille. Par contre un stress hydrique (insuffisance d'irrigation) rend sensible les plantes aux ravageurs dont le développement optimum est conditionné par des climats chauds et secs (acariens, thrips).

Principe 7 : Maintenir les champs parfaitement propres en éliminant les résidus de la campagne précédente, en détruisant les mauvaises herbes et en arrachant et détruisant les plantes et fruits présentant des symptômes de maladie ou d'attaque de ravageurs. À l'issue de la récolte, éliminer les résidus de cultures. Ces mesures empêchent la prolifération des ravageurs et des maladies et leur passage d'une campagne à l'autre.

Principe 8 : Les prédateurs et les parasitoïdes jouent un rôle important dans la régulation de la population des ravageurs et peuvent être utilisé en lutte biologique pour réduire considérablement le besoin en pesticides de synthèse. Par conséquent, les bonnes pratiques culturales (association des cultures, aménagement des zones refuges à proximité des parcelles de production...) et de lutte chimiques «douces» (*produits sélectifs ; produits à faible rémanence* permettant un retour rapide des auxiliaires ; *traitements sur seuil avec les produits systémiques et au bon moment...*) doivent être mise en œuvre afin de favoriser leur installation, leur maintien et leur développement.

Principe 9 : Inspecter régulièrement les champs (au moins chaque semaine) pour surveiller la croissance et le développement des cultures, suivre l'évolution des populations d'auxiliaires et surtout pour détecter rapidement l'apparition de ravageurs, de maladies et d'adventices afin de mettre en œuvre les mesures de lutte intégrée nécessaires pour éviter une aggravation des dégâts et, par conséquent, des pertes importantes de rendement.

Principe 10 : Adopter des stratégies sur la prévention des parasites et la préservation des populations d'auxiliaires. Pour cela, il faut donner la priorité aux moyens de lutte les moins nocifs pour l'homme, la culture et l'environnement.

Privilégier les méthodes mécaniques ou naturelles et appliquer au besoin le produit adéquat, selon la technique requise, en respectant les bonnes pratiques phytosanitaires (dose recommandée, nombre maximal de traitements, formulation autorisée). Une bonne utilisation des pesticides chimiques sélectifs permet d'une part aux populations d'auxiliaires de se développer au détriment des ravageurs et d'autre part d'éviter le développement de la résistance chez les parasites et les résidus de pesticides dans les légumes traités.

Principe 11 : Pratiquer la rotation des cultures : la monoculture favorise le maintien et le développement des bioagresseurs, qui pourraient proliférer au point de devenir ingérables et la rotation des cultures peut donc contribuer à la diminution des formes de conservation, réduisant ainsi l'attaque des plantes hôtes. Planter successivement des cultures ne possédant pas de ravageurs en commun (rotation de tomate avec oignon, ou avec laitue, par exemple).

Cependant, pour favoriser la mise en œuvre de ces principes de lutte intégrée, il y a lieu de sensibiliser et de former davantage tous les intervenants de la filière maraîchère (encadreurs, producteurs et distributeurs de pesticides) sur la reconnaissance des bioagresseurs, sur les bonnes pratiques agricoles, sur les propriétés des pesticides (efficacité, sélectivité, persistance) et sur les mesures de gestion des risques liés à l'utilisation des pesticides (toxicité, mesures de protection). Il est également important de développer des outils d'aide à la décision et des systèmes de surveillance et d'alerte précoce pour un suivi des ravageurs et permettant de prôner l'intégration entre la lutte biologique et chimique qui sont tout à fait complémentaires et synergique pour obtenir de meilleurs résultats en matière de protection des plantes. En effet, le rôle des différents pièges aujourd'hui (piège à eau, pièges à phéromones, piège lumineux, etc.) n'est pas tant de piéger massivement les ravageurs et limiter ainsi leur dégâts, mais plutôt de servir à déclencher un traitement chimique lorsque le seuil d'infestation est atteint. Aussi, des indicateurs permettant d'évaluer l'impact et l'efficacité des mesures de gestion des pesticides au Burkina Faso et le niveau d'adoption des méthodes alternatives à la lutte chimique par les producteurs doivent être développés.

Enfin, on insistera auprès des producteurs sur la nécessité de raisonner les traitements phytosanitaires dans un cadre plus large que celui de la parcelle de la tomate et dans une optique plus longue, car de nombreux ravageurs de la tomate sont également nuisibles à d'autres plantes cultivées. Par exemple *Helicoverpa armigera* et *Bemisia tabaci* s'attaquent aussi bien au coton qu'à la tomate ; c'est le cas également de *Tuta absoluta* qui s'attaque à plusieurs solanacées (tomate, poivron, pomme de terre, aubergine..). Tant que les méthodes de lutte intégrées développées pour gérer ces populations de ravageurs en culture de tomate ne seront pas le cas pour les autres cultures et de façon simultanée, la stratégie de lutte intégrée mise en place peut être compromise. Par exemple, l'introduction, en culture de tomate, d'un parasitoïde spécifique à *B. tabaci* n'a aucune chance de succès si dans les champs de tabac adjacents on traite ce vecteur de viroses avec des insecticides à large spectre d'action (FAO, 2012b).

Pour une application effective de ces stratégies de lutte intégrée, des mesures devront être entreprises par l'Etat burkinabé pour une application effective de la

loi en vue d'enrayer l'utilisation abusive des pesticides ou l'emploi de produits non appropriés ou qui sont incompatibles avec les agents de lutte biologiques naturellement présent ou introduits. Il faudra aussi que l'Etat apporte son soutien en subventionnant les intrants de qualité (semences, engrais et produits chimiques) et le matériel de protection qui ne sont pas toujours disponibles ou accessibles à la portée des producteurs compte tenu de leur faible niveau de revenu.

11.4. Perspectives de recherche

Ce travail qui constitue une étude préliminaire sur les pratiques phytosanitaires en production maraîchère au Burkina Faso, a fourni d'importantes informations sur l'entomofaune de la tomate et sur les pratiques agricoles et phytosanitaires des producteurs de tomate du Burkina Faso, ainsi que les risques encourus. Ce travail a fourni également quelques résultats intéressants (utilisation des biopesticides, associations culturales) qui pourraient être utilisés pour envisager une stratégie de lutte intégrée (IPM) efficace contre les principaux ravageurs de la tomate au Burkina Faso.

Cependant, certains points méritent d'être approfondis afin de favoriser ces stratégies de lutte intégrée :

- La détection récente, de *Tuta absoluta* en culture de tomate au Burkina Faso, constitue une grave menace pour la pérennité de certaines filières maraîchères au Burkina Faso. Par conséquent, une cartographie de sa distribution doit être réalisée afin de suivre son expansion au Burkina Faso. Etant un ravageur s'attaquant à plusieurs plantes, un établissement de la gamme de ses plantes hôtes cultivées et spontanées au Burkina Faso doit être effectué.
- L'utilisation des ennemis naturels est l'un des moyens pour contrôler les populations de ravageurs et éviter le développement de la résistance chez les ravageurs. Cependant, la mise au point d'une méthode efficace de lutte biologique nécessite une bonne connaissance de la biologie de chaque ennemi naturel ainsi que ses relations avec son hôte. C'est dans ce sens que nous préconisons une étude afin d'identifier plus en détails les principaux auxiliaires des ravageurs de la tomate (surtout *Helicoverpa armigera*, *Tuta absoluta* et *Bemisia tabaci*) ainsi que les facteurs favorisant le développement de leurs populations, leur maintien et le taux de prédation ou de parasitisme.
- La gestion intégrée des ravageurs préconisent des techniques de lutte économes en produits chimiques tout en privilégiant la régulation naturelle. Au Burkina Faso, la lutte contre les ravageurs en culture maraîchère est essentiellement chimique, alors que malgré l'utilisation intensive des pesticides, les producteurs n'arrivent pas à atteindre les résultats escomptés. Il est probable que ni les dosages ni les molécules chimiques des pesticides disponibles au Burkina Faso ne soient appropriés. Mais une autre hypothèse serait celle de la présence des populations de ravageurs résistants aux

pesticides utilisés par les producteurs. Il est alors important d'étudier la résistance aux pesticides chez ces ravageurs afin de développer des stratégies de lutte efficace permettront de gérer efficacement l'utilisation des pesticides ; ce qui aura pour effet de réduire les risques sanitaires et environnementaux.

- Les pratiques culturales des producteurs ayant une influence sur la pullulation des ravageurs, des études doivent être conduites pour déterminer l'influence de ces pratiques culturales sur l'abondance des principaux ravageurs (*Bemisia tabaci*, *Helicoverpa armigera* et *Tuta absoluta*) dans les parcelles de tomate au Burkina Faso. Les résultats de cette étude permettront d'identifier les leviers agro-écologiques pour lutter contre ces ravageurs.
- L'utilisation des variétés résistantes étant un élément clé dans la mise en œuvre des stratégies de lutte intégrée, des essais sur la sensibilité des principales variétés de tomate disponibles au Burkina Faso aux principaux ravageurs de la tomate (*Bemisia tabaci*, *Helicoverpa armigera* et *Tuta absoluta*) doivent être conduits afin de déterminer les variétés moins sensible aux attaques de ces ravageurs.
- Au regard des résultats encourageants obtenus avec les associations culturales de la tomate avec les plantes aromatiques, des essais déjà réalisés dans le cadre de cette thèse, doivent être répétés sur de grandes surfaces dans l'espace et dans le temps afin de perfectionner et vulgariser les stratégies de lutte efficaces.
- Outre les ravageurs, la culture de la tomate au Burkina Faso fait face à de nombreuses maladies dont l'une des plus importantes est la fusariose causée par *Fusarium oxysporum*. L'étude sur les maladies de tomate ne faisait pas partie de notre domaine de recherche. Cependant une évaluation *in vitro* de l'efficacité du basilic sur la croissance mycélienne de *Fusarium* montre que l'extrait aqueux du basilic à partir de 15% de concentration, inhibe totalement la croissance mycélienne du champignon (**annexe 2**). Des études plus approfondies devraient être poursuivies sur l'ensemble des maladies de la tomate, et de manière générale des cultures maraîchères au Burkina Faso, ainsi que sur l'interférence des nématodes à galles (Meloidogyne) sur la sensibilité de la tomate à la fusariose (le nématode à galles rendrait la plante plus sensible à cette maladie).

**Partie VI : Productions scientifiques
réalisées durant cette thèse**

Chapitre 12

Liste des productions scientifiques

Les productions scientifiques suivantes ont été réalisées durant cette thèse.

12.1. Publications

- 1) **Son D.**, Somda I., Legrève A., Schiffers B., 2016. Comparison of efficiency and selectivity of three bio-insecticides for the protection of tomatoes in Burkina Faso. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 81(3): 289-297
- 2) **Son D.**, Somda I., Legrève A., Schiffers B., 2017. Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement. *Cah. Agric.* 26, 25005. DOI: 10.1051/cagri/2017010.
- 3) **Son D.**, Bonzi S, Somda I., Bawin T, Boukraa S, Verheggen F, Francis F, Legreve A., Schiffers B., 2017. First record of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso. *African Entomology* 25(1): 259–263.
- 4) **Son D.**, Zerbo K.B.F., Bonzi S., Somda I., Legrève A., Schiffers B., 2018. Assessment of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) producers' exposure level to pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15, 204; doi:10.3390/ijerph15020204
- 5) **Son D.**, Yarou B.B., Bayendi S.M.L., Somda I., Verheggen F., Francis F., Legreve A., Schiffers B., 2018. Détermination par piégeage de la diversité et de l'abondance des familles d'insectes associées à la culture de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) au Burkina Faso. Article accepté dans *Entomologie Faunistique – Faunistic Entomology*.
- 6) **Son D.**, Somda I., Legrève A., Schiffers B., 2018. Effect of plant diversification on pest abundance and tomato yields in two cropping systems in Burkina Faso: Farmer practices and integrated pest management. Accepté dans *International Journal of Biological and Chemical Sciences*.

12.2. Présentations orales

- 1) **Son D.**, Bonzi S, Somda I., Bawin T, Boukraa S, Verheggen F, Francis F, Legreve A., Schiffers B. Emergence de *Tuta absoluta* en culture maraîchère au Burkina Faso : une menace grave pour la production de tomates dans le contexte actuel de changement climatique. *Forum national de la Recherche Scientifique et Innovations Technologiques (FRSIT) 2016, tenue du 19 au 26 Novembre au siège du FESPACO à Ouagadougou (Burkina Faso)*.
- 2) **Son D.**, Somda I., Legrève A., Schiffers B. Les pesticides en production maraîchère au Burkina Faso et bonnes pratiques phytosanitaires. *Atelier de partage des résultats du projet « Renforcement des capacités de diagnostic et de gestion intégrée des problèmes phytosanitaires du Burkina Faso tenue le 19 Octobre 2016 à Ouagadougou (Burkina Faso)*.
- 3) **Son D.**, Somda I., Legrève A., Schiffers B. Alerte: *Tuta absoluta* au Burkina Faso. *Atelier de partage des résultats du projet « Renforcement des*

capacités de diagnostic et de gestion intégrée des problèmes phytosanitaires du Burkina Faso tenue le 19 Octobre 2016 à Ouagadougou (Burkina Faso).

- 4) **Son D.**, Somda I., Legrève A., Schiffers B. Pratiques phytosanitaires et risques liés à l'usage des pesticides en culture de tomate au Burkina Faso. *Communication au premier congrès scientifique international de la société de pharmacologie et de toxicologie du Burkina (SOPHATOX-B) tenu du 17 au 19 Octobre 2017 à Ouagadougou (Burkina Faso).*

12.3. Posters

- 1) **Son D.**, Somda I., Legrève A., Schiffers B. Comparison of efficacy and selectivity of 3 bio-insecticides for the protection of tomatoes in Burkina Faso. 68th International Symposium on Crop Protection, Ghent University, Gand, Belgique, 17 mai 2016.
- 2) **Son D.**, Bonzi S, Somda I., Bawin T, Boukraa S, Verheggen F, Francis F, Legreve A., Schiffers B. Emergence de *Tuta absoluta* en culture maraîchère au Burkina Faso : une menace grave pour la production de tomates dans le contexte actuel de changement climatique: Forum national de la Recherche Scientifique et Innovations Technologiques (FRSIT) 2016, tenue du 19 au 26 Novembre au siège du FESPACO à Ouagadougou (Burkina Faso).

Références bibliographiques

- Ababsia A., Doumandji-Mitiche B., 2014. Lutte biologique intégrée contre la mineuse de la tomate (*Tuta absoluta* Meyrick, 1917) en Algérie. In: *AFPP-Dixième Conférence Internationale Sur Les Ravageurs En Agriculture*. 22 et 23 octobre 2014, Montpellier, France, 10 p.
- Abbes K., Harbi A., Chermiti B., 2012. Comparative study of 2 protection strategies against *Tuta absoluta* (Meyrick) in late open field tomato crops in Tunisia. *Bull. OEPP/EPPO Bull.* **42**(2), 297–304.
- Abdul-rassoul M.S., 2014. A new host record for tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) in Baghdad province, Iraq. *Bull. Iraq Nat. Hist. Mus.* **13**(1), 15–18.
- Abou-Yousef H.M., Farghaly S.F., Singab M., Ghoneim Y.F., 2010. Resistance to Lambda-Cyhalothrin in Laboratory Strain of Whitefly *Bemisia Tabaci* (Genn.) and cross resistance to several insecticides. *Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci.*, **7**(6), 693–696.
- Achaleke J., Brévault T., 2009. Inheritance and stability of pyrethroid resistance in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Central Africa. *Pest Manag. Sci.* **66**(2), 137–141.
- Adje K., Djidji A.H., Fondio L., N'zi J.C., Kouamé C., 2009. Efficacité des traitements phytosanitaires contre les ravageurs et maladies de quatre variétés de tomate au centre de la côte d'ivoire. *Agron. Africaine* **21**(2), 165–172.
- Afouda L., Baimey H., Bachabi F.X., Sero-Kpera D.H., Balogoun R., 2012. Effet de l'hyptis (*Hyptis suaveolens*), du neem (*Azadirachta indica*), du vernonia (*Vernonia amygdalina*), et de l'amarante (*Amaranthus* sp.) sur les nematodes à Galles (*Meloidogyne* spp.) en cultures maraîchères. *Agron. Africaine* **24**(3), 209–218.
- AFSCA, 2005. Terminologie en matière d'analyse des dangers et des risques selon le codex alimentarius 46 p.
- Agbohessi T.P., Toko I.I., Kestemont P., 2012. État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois. *Cah. Agric.* **21**(1), 46–56.
- Ahouangninou C., Fayomi B.E., Martin T., 2011. Evaluation des risques sanitaires et environnementaux des pratiques phytosanitaires des producteurs maraîchers dans la commune rurale de Tori-Bossito (Sud-Bénin). *Cah. Agric.* **20**(3), 216–222.
- Ahouangninou C., Martin T., Etorh P., Bio-Bangana S., Samuel O., St-Laurent L., Dion S., Fayomi B., 2012. Characterization of Health and Environmental Risks of Pesticide Use in Market-Gardening in the Rural City of Tori-Bossito in Benin, West Africa. *J. Environ. Prot. (Irvine, Calif.)* **3**(3), 241–248.
- Alavanja M.C.R., Hoppin J.A. K.F., 2004. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity, *Annual Review of Public Health*, 155-197.
- Allache F., Houhou M.A., Osmane I., Naili L., Demnati F., 2012. Suivi de l'évolution de la population de *Tuta absoluta* Meyrick (Gelichiidae), un nouveau ravageur de la tomate sous serre à Biskra (Sud-Est d'Algérie).

- Entomol. Faun. – Faun. Entomol.* **65**, 149–155.
- Amiard J.-C., 2017. *Les risques chimiques environnementaux. Méthodes d'évaluation et impact sur les organismes. 2ème édition*, 712 p.
- Anastassiades M., Lehotay S.J., Stajnbaher D., Schenck F.J., 2003. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce. *J. AOAC Int.* **86**(2), 412–431.
- ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail), 2010. Exposition aux pesticides, 52 p.
- Appert J., Deuse J., 1982. *Les ravageurs des cultures vivrières et maraichères sous les tropiques. Techniques Agricoles et Productions Tropicales*, Paris, France, 420 p.
- Arabaci O., Bayram E., 2004. The effect of nitrogen fertilization and different plant densities on some agronomic and technologic of *Ocimum basilicum* L. (Basil). *J. Agron.* **3**(4), 255–262.
- AREM (Agricultural Ressources and Environmental Management), 2011. Enjeux de la pollinisation pour la production agricole en Tarn-et-Garonne: projet Capstone, Ecole d'ingénieur de Purpan, Toulouse, France, 106 p.
- Arias-Estévez M., López-Periágo E., Martínez-Carballo E., Simal-Gándara J., Mejuto J.C., García-Río L., 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agric. Ecosyst. Environ.* **123**(4), 247–260.
- Asare-Bediako E., Addo-Quaye A., Bi-Kusi A., 2014. Comparative Efficacy of Plant Extracts in Managing Whitefly (*Bemisia tabaci* Gen) and Leaf curl Disease in Okra (*Abelmoschus esculentus* L). *Columbia Int. Publ. Am. J. Agric. Sci. Technol.* **2**(1), 31–41.
- Atidegla S.C., Bonou W., Agbossou E.K., 2017. Relations entre perceptions des producteurs et surfertilisation en maraichage urbain et péri urbain au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci* **11**(5), 2106–2118.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1997. Toxicological Profile for Chlorpyrifos, U.S. Department of health and human services, 217 p.
- Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I. V.M., 2005. *Agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux Expertise scientifique collective, synthèse du rapport*, INRA et Cemagref, France, 64 p.
- Auger J., Dugravot S. Naudin A., 2002. Utilisation des composés allelochimiques des Allium en tant qu'insecticides. *IOBC wprs* **25**, 1–13.
- Autrique A., Ntahimpera L., 1994. *Atlas des principales espèces de pucerons rencontrées en Afrique Sud-Saharienne.*, Administration générale de la coopération au développement (AGCD), 78 p.

- Badaoui M.I., Berkani A., 2010. Morphologie et comparaison des appareils génitaux de deux espèces invasives *Tuta absoluta* Meyrick 1917 et *Phthorimaea operculella* Zeller 1873 (Lepidoptera : Gelechiidae). *Entomol. Faun. – Faun. Entomol.* **63**(3), 191–194.
- Badiane D., Gueye M.T., Coly E.V., Faye O., 2015. Gestion intégrée des principaux ravageurs du cotonnier au Sénégal et en Afrique occidentale. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **9**(5), 2654.
- Baldi I., Lebailly P., Bouvier G., Rondeau V., Kientz-Bouchart V., Canal-Raffin M., Garrigou A., 2012. Levels and determinants of pesticide exposure in re-entry workers in vineyards: Results of the PESTEXPO study. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* **22**, 593–600.
- Baldi I., Lebailly P., Jean S., Rougetet L., Dulaurent S., Marquet P., 2006. Pesticide contamination of workers in vineyards in France. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* **16**, 115–24.
- Bawin T., Dujeu D., De Backer L., Fauconnier M-L., Lognag G., Delaplace P., Francis F., Verheggen F.J., 2015a. Could alternative solanaceous hosts act as refuges for the tomato leafminer, *Tuta absoluta*? *Arthropod-Plant Interact.* **9**, 425–435.
- Bawin T., Dujeu D., De Backer L., Francis F., Verheggen F.J., 2015b. Ability of *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) to develop on alternative host plant species. *Can. Entomol.* **0**, 1–9.
- Bayendi Loudit S.M., Poligui R.N., Ndoutoume Ndong A., Verheggen F., Francis F., 2017. Abundance and diversity (taxon family) of entomofauna within vegetable crops of urban gardens in Libreville and Owendo (Gabon). *Entomol. Faun. Entomol.* **Accepted**.
- Bayili B., 2014. *Risques environnementaux liés à l'utilisation des pesticides dans deux agro-écosystèmes à base de coton conventionnel et de coton biologique à Komplan 2 dans la commune de Dano au Burkina Faso*. Diplôme de Master II de recherche; Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 77 p.
- Belhadi A., Mehenni M., Reguieg L., Yakhlef H., 2016. Pratiques phytosanitaires des serristes maraichers de trois localités de l'est des Ziban et leur impact potentiel sur la santé humaine et l'environnement. *Rev. Agric. Numéro spécial 1* **1**, 9–16.
- Bempah C.K., Buah-Kwofie A., Denutsui D., Asomaning J., Tutu A.O., 2011. Monitoring of pesticide residues in fruits and vegetables and related health risk assessment in Kumasi metropolis, Ghana. *Res. J. Environ. Earth Sci.* **3**(6), 761–771.
- Berenstein G.A., Hughes E.A., March H., Rojic G., Zalts A., Montserrat J.M., 2014. Pesticide potential dermal exposure during the manipulation of concentrated mixtures at small horticultural and floricultural production units in Argentina: The formulation effect. *Sci. Total Environ.* **472**, 509–516.
- Bianchi F.J.J.A., Booij C.J.H., Tscharrntke T., 2006. Sustainable pest regulation

- in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc. R. Soc. Biol. Sci.* **273**, 1715–1727.
- Bioprotect, 2011. L'innovation au service de l'agriculture. Catalogue des produits et services, Bioprotect, Fada N'Gourma, Burkina Faso, 11 p.
- Blancard D., Laterrot, H., Marchoux, G. C.T., 2009. *Les maladies de la tomate, identifier, connaître, maîtriser*, Paris, France, 232 p.
- Blocaille S., 2017. Focus n°15 : Protection intégrée contre les ravageurs des cultures annuelles. *Ecophyto Pic* 13 p.
- Bloem S., Spaltenstein E., 2011. New pest response guidelines. Tomato leafminer (*Tuta absoluta*), Animal and Plant Health Inspection Service, Plant Protection and Quarantine, United States Department of Agriculture, 176 p.
- Boileau E., 2015. Ecotoxicologie et impacts sanitaires des pesticides en réponse à l'augmentation des ravageurs amenés par les changements climatiques: portrait, perspectives et recommandations, Maîtrise en Environnement à l'Université de Sherbrooke, Canada, 130 p.
- Boissonnot R., 2014. *Risques sanitaires et perception chez les agriculteurs utilisateurs de produits phytopharmaceutiques*. Thèse en conservatoire national des arts et métiers, Spécialité: Génie des procédés, Paris, France, 281 p.
- Boller E.F., Avilla J., Joerg E., Malavolta C., Wijnands F.G., Esbjerg P., 2004. Integrated production: principles and technical guidelines. *Bull. OILB/SROP* **27**(2), 1–12.
- Bordat D., Arvanitakis L., 2004. *Arthropodes des cultures légumières d'Afrique de l'Ouest, centrale* Title, CIRAD, Mayotte et Réunion, France, 291 p.
- Bosquée E., Lopes T., Serteyn L., Chen J.L. F.F., 2014. Impacts d'une association culturale de pois et de pommes de terre sur les pucerons et auxiliaires aphidiphages en Chine. *Entomol. Faun. – Faun. Entomol.* **67**, 97–104.
- Bouagga A., Chaabane H., Bahrouni H., Hassine K., 2016. The use of IRPeQModel as indicator to estimate the risk of some pesticides on human health and environment. *Tunis. J. Plant Prot.* **11**(1), 133–141.
- Brévault T., Beyo J., Nibouche S. V.M., 2007. La résistance des insectes aux insecticides: problématique et enjeux en Afrique centrale, Cirad-Prasac, France, 6 p.
- Brévault T., Sylla S., Diatte M., Bernadas G. D.K., 2014. *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae): A new threat to tomato production in Sub-Saharan Africa. *African Entomol.* **22**(2), 441–444.
- Brodeur J., Boivin G., Cloutier C., Grenier P. G.A.-E., 2013. Impact des changements climatiques sur le synchronisme entre les ravageurs et leurs ennemis naturels: conséquences sur la lutte biologique en milieu agricole au Québec, Canada, 124 p.
- Burban C., 1991. *Structuration des populations chez un insecte polyphage: Bemisia tabaci (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae)*. Thèse de doctorat,

- Université de Montpellier II, Sciences et techniques du Languedoc, France, 103 p.
- Burns C.J., Mahlburg W.M., Dutra J.P., 2007. Pesticide exposure among farm workers. *Environ. Res.* **105**, 285–286.
- CAPES, 2007. Contribution des cultures de saison sèche à la réduction de la pauvreté et à l'amélioration de la sécurité alimentaire, Ouagadougou, Burkina Faso, 120 p.
- Chailleux A., Bearez P., Pizzol J., Amiens-Desneux E., Ramirez-Romero R. D.N., 2013. Potential for combined use of parasitoids and generalist predators for biological control of the key invasive tomato pest *Tuta absoluta*. *J. Pest Sci. (2004)*. **86**(3), 533–541.
- Charbonnier E., Ronceux A., Carpentier A.S., Soubelet H., Barriuso E., 2015. *Pesticides: Des impacts aux changements de pratiques. Bilan de quinze années de recherche pour éclairer la décision publique.*, 400 p.
- Chen C., Qian Y., Chen Q., Tao C., Li C., Li Y., 2011. Evaluation of pesticide residues in fruits and vegetables from Xiamen, China. *Food Control* **22**(7), 1114–1120.
- Chinery M., 2012. *Insectes de France et d'Europe occidentale. Guide nature. Edition Flammarion revue et augmentée.*, 320 p.
- Chougar S., Medjdoub-Bensaad F., 2014. Biologie et dynamique des populations de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) sur deux variétés de tomate (Dawson et Zahra) sur le littoral de la région de Tizi-ouzou. In: *AFPP Dixième Conférence Internationale Sur Les Ravageurs En Agriculture*. 22 et 23 octobre 2014, Montpellier, France, 6 p.
- Chougourou D.C., Agbaka A., Adjakpa J.B., Koutchika R.E., Kponhinto U.G. A.E.J.N., 2012. Inventaire préliminaire de l'entomofaune des champs de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la Commune de Djakotomey au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **6**(4), 1798–1804.
- CILSS, 1999. Réglementation commune aux états membres du CILSS sur l'homologation des pesticides, Comité permanent Inter-états de lutte contre la Sécheresse dans le Sahel, 30 p.
- CILSS, 2017. Flux transfrontaliers de produits agricoles et d'élevage au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Programme régional d'appui accès aux marchés, Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel, 9 p.
- Cissé I., Fall ST., Badiane M., Diop Y. D.A., 2006. Horticulture et usage des pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal, Document de travail Écocité no 8. ISRA/LNERV, EISMV, LACT/Faculté de médecine pharmacie/UCAD, 14 p.
- Claude R. G.B., 1994. Maladies et ravageurs des cultures légumières au Canada, 14 p.
- CNCP, 2016. Liste globale actualisée des distributeurs agréés de pesticides au Burkina Faso, Comité National de Contrôle des Pesticides / Ministère de

- l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques, Ouagadougou, Burkina Faso, 11 p.
- Congo A.K., 2013. *Risques sanitaires associés à l'utilisation de pesticides autour de petites retenues : cas du barrage de Loumbila*. Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2iE, Ouagadougou, Burkina Faso, 68 p.
- CPF, 2011. Etude des expériences positives autour des exploitations agricoles familiales : Cas du secteur maraîcher au Burkina Faso. Confédération Paysanne du Faso, Ouagadougou, Burkina Faso, 51 p.
- CSAN (Centre pour la Sécurité Alimentaire du Niger), 2017. Classification des insecticides et acaricides par mode d'action. *IPMnote* **1**, 8 p.
- Dahlin I. Vucetic A., Ninkovic V., 2015. Changed host plant volatile emissions induced by chemical interaction between unattacked plants reduce aphid plant acceptance with intermorph variation. *J. Pest Sci.* (2004). **88**(2), 249–257.
- Del Prado-Lu J.L., 2015. Insecticide residues in soil, water, and eggplant fruits and farmers' Health effects due to exposure to pesticides. *Environ. Health Prev. Med.* **20**(1), 53–62.
- Delvare G., Aberlenc H.P., 1989. Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale : clé de reconnaissance des familles d'insectes, CIRAD-GERDAT, Montpellier, France, 302 p.
- Desneux N., Wajnberg E., Wyckhuys K.A.G., Burgio G., Arpaia S., Narva C.A., Catala D. T.C.P., 2010. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta* : ecology , geographic expansion and prospects for biological control. *J Pest Sci* **83**, 197–215.
- Diabaté D., Gnago J.A., Koffi K., Tano Y., 2014. The effect of pesticides and aqueous extracts of *Azadirachta indica* (A. Juss) and *Jatropha carcus* L. on *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera : Aleyrididae) and *Helicoverpa armigera* (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) found on tomato plants in Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.* **80**, 7132–7143.
- Diatté M., Brévault T., Sall-sy D., Diarra K., 2016. Des pratiques culturales influent sur les attaques de deux ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal Cultural practices affect attacks of two pests of tomato in the Niayes in Senegal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **10**(2), 681–693.
- Dino J.M., 2014. *Insects of East Africa*, 152 p.
- Djiba S., 1986. *La dynamique des populations de ravageurs ; éléments essentiels pour une protection intégrée des cultures vivrières de Basse Casamance*. Mémoire d'ingénieur, Institut Senegalais de Recherches Agricoles, Sénégal, 54 p.
- Dosemeci M., Alavanja M.C.R. Rowland A.S., Mage D., Zahm S., Hoar Rothman N., Lubin J.H. Hoppin J.A., Sandler D.P., Blair A., 2002. A quantitative approach for estimating exposure to pesticides in the agricultural health study. *Ann. occup. Hyg* **46**(2), 245–260.
- Doumbia M., Kwadjo K.E., 2009. Pratiques d'utilisation et de gestion des

- pesticides par les maraîchers en Côte d'Ivoire : Cas de la ville d'Abidjan et deux de ses banlieues (Dabou et Anyama). *J. Appl. Biosci.* **18**, 992–1002.
- Doumbouya M., Abo K., Lepengue A.N., Camara B., Kanko K., Aidara D., Koné D., 2012. Activités comparées invitro de deux fongicides de synthèse et de deux huiles essentielles, sur des champignons telluriques des cultures maraîchères en Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.* **50**, 3520–3532.
- DPVC, 2016. Tableau récapitulatif des pesticides contrôlés en frontière au cours des 7 dernières années. Direction de Protection des Végétaux / Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques, Ouagadougou, Burkina Faso, 2 p.
- DRAAF, 2014. *La méthodologie de calcul de l'indicateur de fréquence de traitements (IFT)*. Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de la région Auvergne-Rhône-Alpes, France, 4 p.
- Dross C., 2012. *Impact de plantes aromatiques associées à la tomate sur les populations d'aleurodes Bemisia tabaci*. Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement, CIRAD, France, 45 p.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2014. Guidance on the assessment of exposure of operators , workers , residents and bystanders in risk assessment for plant protection products 1. *EFSA J.* **12**(10), 55 p.
- Ehi-Eromosele C.O., Nwinyi O.C., Ajani O.O., 2013. Integrated Pest Management. *Weed Pest Control - Conv. New Challenges* 105–115.
- El-Aissaoui A., 2015. *Les bases de l'application rationnelle des produits phytosanitaires. Guide pratique pour les opérateurs agricoles*, INRA, Settat, Maroc, 32 p.
- El-Ghammam M., Nasser H.M.A., Wahba M.N., 2016. Effect of intercropping of two aromatic plants and two treatments against infestation of Liriomyza Trifolli (Burgess) on two green pea plants and economic evaluation of yield. *Middle East J. Agric. Res.* **5**(4), 455–461.
- Elise P., Erik D., Mario A., SamChim A Tam. T.L., 1989. *La culture de la tomate, du piment et de poivron*. Agrobok ed., Agromisa, 55 p.
- EPPO, 2005. *Tuta absoluta*. Data sheets on quarantine pests. *Bull. OEPP/EPPO Bull.* **35**, 434–435.
- EU—Pesticides Database, 2017. European pesticides database. <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=activesubstance.detail&language=EN&selectedID=1755>, (12/11/2017).
- FAO, 2001. *Directives sur la bonne pratique de l'application terrestre des pesticides*, 48 p.
- FAO, 2003. *Version révisée du code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides*, 40 p.
- FAO, 2008. *Catalogue ouest africain des espèces et variétés végétales*, 113 p.
- FAO, 2012a. *Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation*

- des pesticides. Directives pour la prévention et la gestion de la résistance aux pesticides*, 62 p.
- FAO, 2012b. *La Production et Protection Intégrées appliquée aux cultures maraîchères en Afrique soudano-sahélienne*, 158 p.
- FAO, 2017. AGP - Integrated Pest Management. <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/ipm/en/>, (12/07/2017).
- FAO et OIT, 2013. *Protégeons nos enfants des pesticides: Guide visuel d'animation*, 72 p.
- FAOSTAT, 2016. Situation de production de tomates au Burkina Faso. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/%0AF>, (03/07/2016).
- FAOSTAT, 2017a. Production de la tomate dans le monde. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>, (10/05/2017).
- FAOSTAT, 2017b. Pesticides commerce. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/RT>, (27/12/2017).
- Fenske R.A., Day E.W., 2005. Assessment of exposure for pesticide handlers in agricultural, residential and institutional environments. *Occup. Resid. Expo. Assess. Pestic.* 11–43.
- Fernandes F.L., Bacci L. F.M.S., 2010. Impact and selectivity of insecticides to predators and parasitoids. *EntomoBrasilis* 3(1), 1–10.
- Ferron P., 1999. Protection intégrée des cultures: évolution du concept et de son application. *Cahiers* 8, 389–396.
- Flores A.P., Berenstein G.A., Hughes E.A., Zalts A., Montserrat J.M., 2011. Pesticide risk assessment in flower greenhouses in Argentina: The importance of manipulating concentrated products. *J. Hazard. Mater.* 189(1–2), 222–228.
- Gerling D., Alomar Ò., Arnó J., 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Prot.* 20(9), 779–799.
- Gil Y., Sinfort C., Guillaume S., Brunet Y., Palagos B., 2008. Influence of micrometeorological factors on pesticide loss to the air during vine spraying: Data analysis with statistical and fuzzy inference models. *Biosyst. Eng.* 100(2), 184–197.
- Glass C.R., Machera K., 2009. Evaluating the risks of occupational pesticide exposure. *Hell. Plant Prot. J.* 2(1), 1–9.
- Gnankiné O., Mouton L., Savadogo A., Martin T., Sanon A., Dabire R.K., Vavre F., Fleury F., 2013. Biotype status and resistance to neonicotinoids and carbosulfan in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Burkina Faso, West Africa. *Int. J. Pest Manag.* 59(2), 95–102.
- Gnankiné O., Traoré D., Sanon A., Dabiré R., Ouedraogo A., 2005. Contribution à l'évaluation des potentialités d'*Encarsia* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae) comme agent de lutte biologique contre la mouche blanche du cotonnier, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) au Burkina Faso. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 25(4), 266–273.

- Gnankiné O., Traoré D., Sanon A., Ouedraogo A.P., 2004. Impact des traitements insecticides sur les ennemis naturels de *Bemisia tabaci* au Burkina Faso. *Ann. l'Université Ouagadougou*. **2**(Série C), 225–242.
- Gomgnimbou A.P.K., Savadogo P.W., Nianogo A.J., Millogo-Rasolodimby J., 2009. Usage des intrants chimiques dans un agrosystème tropical: diagnostic du risque de pollution environnementale dans la région cotonnière de l'est du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **13**(4), 499–507.
- Gouba A., 2002. *Efficacité biologique d'extrait de neem (Azadirachtaindica A. Juss) sur des populations de Helicoverpa armigera (Lepidoptera: Noctuidae) en culture du cotonnier et de la tomate*. Mémoire d'ingénieur, Institut de Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 99 p.
- Gountan A., 2013. *Effet des pesticides et de différents types de matière organique sur la macrofaune et la microflore d'un sol sous culture pluviale de tomate (Lycopersicum esculentum Limé)*. Master 2 en science du sol. Institut de Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 71 p.
- Guery B., 2015. Fiche *Tuta absoluta*, mineuse de la tomate. Parasite émergent. *DRAAF/SRAL Aquitaine et Raphaël ROUZES: Entomo-Remedium 2* p.
- Haubruge E., Amichot, M., 1998. Les mécanismes responsable de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **2**(3), 161–174.
- Hilje L., Costa H.S., Stansly P.A., 2001. Cultural practices for managing *Bemisia tabaci* and associated viral diseases. *Crop Prot.* **20**(9), 801–812.
- Hooks C.R.R., Johnson M.W., 2003. Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Prot.* **22**, 223–238.
- Houndété T.A., Kétoh G.K., Hema O.S.A., Brévault T., Glitho I.A., Martin T., 2010. Insecticide resistance in field populations of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in West Africa. *Pest Manag. Sci.* **66**(11), 1181–1185.
- Hruska A.J., Corriols M., 2002. The impact of training in integrated pest management among nicaraguan maize farmers: increased net returns and reduced health risk. *Int. J. Occup. Environ. Health* **8**(3), 191–200.
- Huat J., 2008. *Diagnostic sur la variabilité des modes de conduite d'une culture et de leurs conséquences agronomiques dans une agriculture fortement soumise aux incertitudes : cas de la tomate de plein champ à Mayotte*. Thèse de doctorat. Institut des Sciences et Industrie du Vivant et de l'Environnement, AgroParisTech, France, 217 p.
- Ibrahim B., 2013. *Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé*. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, France, 246 p.
- IFDC, 2004. Le marché des intrants au Mali, Burkina Faso et Ghana, 103 p.

- IFDC, 2007. Problématique de l'utilisation des produits phytosanitaires en conservation des denrées alimentaires et en maraîchage urbain et péri urbain au Burkina Faso : cas de Bobo Dioulasso, Ouahigouya et Ouagadougou, 51 p.
- iFlex, 2010. Cahier PPI tomate. http://www.iflexsenegal.org/ref/REFERENTIEL_QUALITE/3322cahierPPItomate.pdf, (20/10/2015).
- Illyassou K.M., Adamou R. S.B., 2017. Risk assessment for small farmers exposed to plant protection products in the Niger river valley. *Comm. Appl. Biol. Sci, Ghent Univ.* 1–13.
- INERIS, 2011. Fiche de la lambda cyhalothine - N° CAS 91465-08-6. Validation du groupe d'experts de Juin 2011, 18 p.
- INSD, 2011. *Situation du commerce extérieur du Burkina Faso en 2010*, Institut National de la Statistique et de la Démographie, Ouagadougou, Burkina Faso, 28 p.
- IPPC, 2017. Ghana: First report of tomato leaf miner, *Tuta absoluta*. *IPPC (International Plant Prot. Conv.* <https://www.ippc.int/en/countries/ghana/pestreports/2017/07/report-on-tomato-leaf-miner-tuta-absoluta/> , (13/04/2018).
- IRAC, 2017. *IRAC Mode of Action Classification Scheme. Version 8.3*. IRAC ed., Insecticide Resistance Action Committee, 26 p.
- Isenring R., 2010. *Les pesticides et la perte de biodiversité. Comment l'usage intensif des pesticides affecte la faune et la flore sauvage et la diversité des espèces*. Pesticide Action Network Europe, Bruxelles, Belgique, 31 p.
- Jallow M.F.A., Awadh D.G., Albaho M.S., Devi V.Y., Thomas B.M., 2017. Pesticide risk behaviors and factors influencing pesticide use among farmers in Kuwait. *Sci. Total Environ.* **574**, 490–498.
- Jaloux B., 2011. Cultures associées et contrôle des populations de pucerons , mécanismes et perspectives, Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques – 7 & 8 décembre 2011 - Rennes, France, 76-80.
- James B., Atcha-Ahowé C., Godonou I., Baimey H., Goergen G. S.R.& T.M., 2010. *Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest*. Cotonou, Bénin, 125 p.
- JMPR, 2007a. Lambda-cyhalothrin. First draft prepared by Wolterink G. and Ray D. (68085), 173–200.
- JMPR, 2007b. Profenofos. First draft prepared by Shah P.V. and David Ray 403–443.
- Kamel F., Hoppin J.A., 2004. Association of pesticide exposure with neurologic dysfunction and disease. *Environ. Health Perspect.* **112**(9), 950–958.
- Kanda M., Djaneye-boundjou G., Wala K., Gnandi K., Batawila K., Sanni A., 2013. Application des pesticides en agriculture maraîchère au Togo. *Vertigo - la Rev. électronique en Sci. l'environnement* **13**(1), 1–17.
- Kêdowidé C.M.G., Sedogo M.P., Cissé G., 2010. Dynamique spatio temporelle de l'agriculture urbaine à Ouagadougou : Cas du Maraîchage comme une

- activité montante de stratégie de survie. *Vertigo* **10**(2), 0–21.
- Kennedy G.G., 2003. Tomato, pests, parasitoids, and predators: tritrophic interactions involving the Genus *lycopersicon*. *Annu. Rev. Entomol.* **48**(1), 51–72.
- Kenny G.J., Chapman R.B., 1988. Effects of an intercrop on the insect pests, yield, and quality of cabbage. *New Zeal. J. Exp. Agric.* **16**(1), 67–72.
- Khafagy I.F., 2015. The role of some aromatic plants intercropping on *Tuta absoluta* infestation and the associated predators on tomato. *Egy. J. Plant Pro. Res.* **3**(2), 37–53.
- Kim E., Moon J-K., Choi H., Kim J-H., 2015. Probabilistic exposure assessment for applicators during treatment of the fungicide kresoxim-methyl on an apple orchard by a speed sprayer. *J. Agric. Food Chem.* **63**(48), 10366–10371.
- Kim E., Moon J-k., Lee H., Kim S., Hwang Y-J., Kim B-J., Lee J., Lee D-H., Kim J-H., 2013. Exposure and risk assessment of operators to insecticide acetamiprid during treatment on apple orchard. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* **31**(2), 239–245.
- Kim K-H., Kabir E., Jahan S.A., 2017. Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Sci. Total Environ.* **575**, 525–535.
- Kim S-H., Lee C-H., Kim K-H. J.S.-H., 2016. Comparative estimation of exposure level and health risk assessment of highly produced pesticides to agriculture operators by using default dermal absorption rate or actual measurement values. *Biomed. Sci. Lett.* **22**(4), 199–206.
- Klein A-M., Vaissière B.E., Cane J.H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S.A., Kremen C., Tscharrnke T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **274**(1608), 303–313.
- Köhler A., Somavilla A., Schoeninger K., 2012. Community of floral visiting insects of *Ocimum selloi* Benth (Lamiaceae) in Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil. *Biotemas* **25**(1), 55–63.
- Kolia Y.P.M., 2015. *Analyse des résidus de pesticides dans les produits maraichers sur le site du barrage de Loumbila au Burkina Faso : Évaluation des risques pour la santé*. Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2iE/ Ouagadougou, Burkina Faso, 78 p.
- Konaté G., Barro N., Fargette D., Swanson M.M., Harrison B.D., 1995. Occurrence of whitefly-transmitted geminiviruses in crops in Burkina Faso, and their serological detection and differentiation. *Ann. appl. Biol.* **126**, 121–130.
- Landis D.A., Wratten S.D., Gurr G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* **45**, 175–201.
- Langley M., Stark J.D., 1996. Analytical techniques for quantifying direct, residual, and oral exposure of an insect parasitoid to an organophosphate insecticide. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **57**(5), 683–690.

- Lankoandé G.D., Maradan D., 2013. *Coût de l'inaction de la gestion des produits chimiques dans le secteur minier et agricole*. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Ouagadougou, Burkina Faso, 48 p.
- Lawson A.J., Akohou H., Lorge S., Schiffers B., 2017. Three Methods to Assess Levels of Farmers' Exposure to Pesticides in the Urban and Peri-urban Areas of Northern Benin. *Tunis. J. Plant Prot.* **91**(1).
- Lebailly P., Bouchart V., Baldi I., Lecluse Y., Heutte N., Gislard A., Malas J-P., 2009. Exposure to pesticides in open-field farming in France - Abstract. *Ann. Occup. Hyg* **53**(1), 69–81.
- Lebdi Grissa K., Skander M., Mhafdhi M., Belhadj R., 2011. Lutte intégrée contre la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) en Tunisie. *Entomol. Faun. – Faun. Entomol.* **63**(3), 125–132.
- Legrève A., Duveiller E., 2010. Preventing potential disease and pest epidemics under a changing climate In : Matthew. P. Reynolds, ed. *Climate change and crop production*. CAB International, 50–70 p.
- Lehmann E., 2017. *Impact assessment of pesticides applied in vegetable producing areas in the Saharan zone: the case of Burkina Faso*. Thèse en Génie civil et Environnement, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 286 p.
- Lehmann E., Dibié J-J.N., Konaté Y., de Alencastro L.P., 2016a. Pesticides use in gardening areas in Burkina Faso and evaluation of the resulting risk for the operator using the new AOEM proposed by EFSA guidelines. *68th Int. Symp. Crop Prot. (Gent, May 17, 2016)* (June 2017).
- Lehmann E., Ultramare C., Dibié J-J.N., Konaté Y., De Alencastro L.F., 2016b. Assessment of occupational exposure to pesticides with multi-class pesticide residues analysis in human hairs using a modified QuEChERS extraction method, case study of gardening areas in Burkina Faso. *Annu. Meet. Int. Assoc. Forensic Toxicol.* 2 p.
- Lehmann E., Turrero N., Kolia M., Konaté Y., De Alencastro L.F., 2017. Dietary risk assessment of pesticides from vegetables and drinking water in gardening areas in Burkina Faso. *Sci. Total Environ.* **601–602**, 1208–1216.
- Letourneau D.K., Armbrrecht I., Rivera B.S., Lerma J.M., Carmona E.J., Daza M.C., Escobar S., Galindo V., Gutiérrez C., Lopez S.D., Mejia J.L., Rangel A.M.A., Rangel J.H., Rivera L., Saavedra C.A., Torres A.M., Trujillo R.A., 2011. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecol. Appl.* **21**(1), 9–21.
- Levy J., Walfisch S., Atzmon A., Hirsch K., Khanin M., Linnewiel K., Morag Y., Salman H., Veprik A., Danilenko M. S.Y., 2011. The role of tomato lycopene in cancer prevention. In: Mutanen M., P.A.-M. ed. *Vegetables, Whole Grains, and Their Derivatives in Cancer Prevention*. 44–66.
- Lietti M.M.M., Botto E., Alzogaray R.A., 2005. Insecticide resistance in Argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).

- Neotrop. Entomol.* **34**(1), 113–119.
- Losey J.E., Vaughan M., 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience* **56**(4), 311–323.
- Lozano D.P., Bosquée E., Lopes T., Chen J., Fa C.D., Yong L., Fang-Quiang Z., Haubruge E., Bragard C., Francis F., 2012. Evaluation de la diversité des pucerons et de leurs ennemis naturels en cultures maraîchères dans l' est de la Chine. *Faun. Entomol.* **2012**(4), 63–71.
- Lucas P., 2007. Le concept de la protection intégrée des cultures. *Innov. Agron.* **1**, 15–21.
- MAAF, 2015. Guide méthodologique. Indicateur de fréquence de traitements phytopharmaceutiques (IFT). Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, Paris, France, 58 p.
- MAAH, 2017a. Rapport général des résultats définitifs de la campagne agricole 2016/2017 et des perspectives de la situation alimentaire et nutritionnelle, Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques, Ouagadougou, Burkina Faso, 95 p.
- MAAH, 2017b. Situation de référence du programme de développement des cultures fruitières et légumières (PDCFL), Phase 2018-2022, Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques, Ouagadougou, Burkina Faso, 61.
- MAAH, 2017c. Loi N°026-2017/AN portant contrôle de la gestion pesticides au Burkina Faso, Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques, Ouagadougou, Burkina Faso, 28 p.
- Macfarlane E., Carey R., Keegel T., El-Zaemay S., Fritschi L., 2013. Dermal exposure associated with occupational end use of pesticides and the role of protective measures. *Saf. Health Work* **4**, 136–141.
- Machado-Neto J.G., 2001. Determination of safe work time and exposure control need for pesticide applicators. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **67**(1), 20–26.
- MAH, 2011. Rapport général du module maraîchage. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, Ouagadougou, Burkina Faso, 318 p.
- MAH, 2012. Rapport bilan de la campagne agricole de saison sèche 2011-2012. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, Ouagadougou, Burkina Faso, 18 p.
- MAHRH, 2007. Analyse de la filière maraîchage au Burkina Faso. Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, Ouagadougou, Burkina Faso, 127 p.
- Mailafiya D.M., Degri M.M., Maina Y.T., Gadzama U.N., Galadima I.B., 2014. Preliminary Studies on Insect Pest Incidence on Tomato in Bama , Borno State , Nigeria. *Int. Lett. Nat. Sci.* **5**, 45–54.
- Marcon E., 2010. Mesures de la biodiversité. *Entropie* 58 p.
- MARHASA, 2014. Superficies et production maraîchère par région (campagne 2013-2014). Ministère de l'Agriculture, des Ressources Halieutiques, de

- l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Martin T., Germain O.O., Hala-N'Klo., Vassal J-M., Vaissayre M., 2000. Pyrethroid resistance in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner), in West Africa. *Pest Manag. Sci.* **56**, 549–554.
- Martin T., Ochou G.O., Djihinto A., Traore D., Togola M., Vassal J. M., Vaissayre M., Fournier D., 2005. Controlling an insecticide-resistant bollworm in West Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* **107**, 409–411.
- Mazollier C., 2001. Les lépidoptères ravageurs en légumes biologiques. *TECHN'ITAB-Maraîchage* 4 p.
- McCall P.J., Swann R.L. Laskowski D.A., Unger S.M., Vrona S.A., Dishburger H.J., 1980. Estimation of chemical mobility in soil from liquid chromatographic retention times. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **24**(1), 190–195.
- MECV, 2007. Programme d'action national d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (PANA du Burkina Faso). Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Ouagadougou, Burkina Faso, 84 p.
- MECV, 2011. Analyse économique du secteur du coton. Liens pauvreté Environnement. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Ouagadougou, Burkina Faso, 60 p.
- Medeiros M.A. Sujii E.R., Morais H.C., 2009. Effect of plant diversification on abundance of South American tomato pinworm and predators in two cropping systems. *Hortic. Bras.* **27**(3), 300–306.
- MEF, 2010. Stratégie de Croissance Accélérée et de Développement Durable 2011-2015. Ministère de l'Economie et des Finances, Ouagadougou, Burkina Faso, 116 p.
- MEF, 2011. Plan de lutte anti parasitaire et de gestion des pesticides. Ministère de l'Economie et des Finances, Ouagadougou, Burkina Faso, 143 p.
- MEF, 2015. Plan de gestion des pestes et pesticides au Burkina Faso. Ministère de l'Economie et des Finances, Ouagadougou, Burkina Faso, 125 p.
- MESRSI, 2016. Utilisation des pesticides agricoles dans trois régions à l'ouest du Burkina Faso et évaluation de leur impact sur la santé et l'environnement: cas des Régions de la Boucle du Mouhoun , des Cascades et des Hauts-Bassins. Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de l'Innovation, Ouagadougou, Burkina Faso, 100 p.
- Messiaen C.M., Blancard D., Rouxel F. L.R., 1991. *Les maladies des plantes maraîchères. Du labo au terrain*, INRA, Montpellier, France, 552 p.
- Mignon J., Colignon P., Haubruge E., Francis F., 2003. Effet des bordures de champs sur les populations de chrysopes [Neuroptera: Chrysopidae] en cultures maraîchères. *Phytoprotection* **84**(2), 121–128.
- Mignon J., Haubruge E., Francis F., 2016. *Clé d'identification des principales familles d'insectes d'Europe*, 87 p.
- Moiroux J., Bourgeois G., Boivin G., Brodeur J., 2014. Impact différentiel du

- réchauffement climatique sur les insectes ravageurs des cultures et leurs ennemis naturels : implications en agriculture. *Feuillet Tech. Ouran. Proj.* 550005-103, Québec, Canada. 12 p.
- Multigner L., 2005. Effets retardés des pesticides sur la santé humaine. *Environnement, Risques & Santé* 4(3), 187–194.
- Naika S., de Jeude J.V.L., de Goffau M., Hilmi M. van D.B., 2005. *La culture des tomates: production, transformation et commercialisation*, Agromisa et CTA, Wageningen, Pays-Bas, 105 p.
- Naré R.W.A., Savadogo P.W., Gnankambary Z., Nacro H.B., Sedogo P.M., 2014. Effect of three pesticides on soil dehydrogenase and fluorescein diacetate activities in vegetable garden in Burkina Faso. *Curr. Res. J. Biol. Sci.* 6(2), 102–106.
- Naré R.W.A., Savadogo P.W., Gnankambary Z., Nacro H.B. S.M.P., 2015. Analyzing Risks Related to the Use of Pesticides in Vegetable Gardens in Burkina Faso. *Agric. For. Fish.* 4(4), 165–172.
- Ngom S. Traoré S., Thiam M.B., Anastasie M., 2012. Contamination des produits agricoles et de la nappe phréatique par les pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 25, 119–130.
- Nicot P.C., Fabre R., Lebkara T., Ozayou S. Abro M.A., Duffaud M., Lecompte F., Jeannequin B., 2012. Manipulating nitrogen fertilization for the management of diseases in the tomato greenhouse: what perspectives for IPM? *IOBC-WPRS Bull.* 80(July 2014), 333–338.
- Nigg H.N., Stamper J.H., Queen R.M., 1986. Dicofol exposure to Florida citrus applicators: Effects of protective clothing. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 15(1), 121–134.
- Nuyttens D., Braekman P., Windey S., Sonck B., 2009. Potential dermal pesticide exposure affected by greenhouse spray application technique. *Pest Manag. Sci.* 65(7), 781–790.
- Nzi J.C., Kouamé C., N'Guetta A.S.P., Fondio L., Djidji A.H., Sangaré A., 2010. Evolution des populations de Bemisia tabaci Genn . selon les variétés de tomate (Solanum lycopersicum L .) au Centre de la Côte d'Ivoire. *Sci. Nat.* 7(1), 31–40.
- OEPP, 2005. Fiches informatives sur les organismes de quarantaine: *Tuta absoluta*. *EPPO Bull.* 35, 434–435.
- Ofori E.S.K., Yeboah S., Nunoo J., Quartey E.K., Torgby-Tetteh W., Gasu E.K. E.E.A., 2014. Preliminary studies of insect diversity and abundance on twelve accessions of tomato, *Solanum lycopersicon* L. Grown in a coastal savannah agro ecological zone. *J. Agric. Sci.* 6(8), 72–82.
- Ogayo K.O., Ogwenso J.O., Nyaanga J.G., Ogendero J.O., Wagara I.N., Ochola S.O., 2015. Bioactivity of Leonotis nepetifolia and Ocimum gratissimum extracts in management of Tetranychus urticae koch on french beans. *Glob. J. Bio-Science Biotechnology* 4(3), 282–286.

- Ohui D.H., 2014. *Risques environnementaux et sanitaires associés à l'utilisation des pesticides autour de petites retenues d'eau: Cas du bassin versant de Nariarlé*. Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2iE, Ouagadougou, Burkina Faso, 110 p.
- OMS, 1991. L'utilisation des pesticides en agriculture et ses conséquences pour la santé publique, Genève, Suisse, 151 p.
- OMS, 2002. Réduire les risques et promouvoir une vie saine. Rapport sur la santé dans le monde, Genève, Suisse, 21 p.
- OMS, 2003. Régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques. Rapport d'une consultation OMS/FAO d'experts, Genève, Suisse.
- OMS/FAO, 2004. Fruits et légumes pour la santé. Rapport de l'atelier conjoint FAO / OMS, 1er au 3 septembre 2004, Kobe, Japon, 55 p.
- Ondo Zue Abaga N., Alibert P., Doussset S., Savadogo P.W., Savadogo M., Sedogo M., 2011. Insecticide residues in cotton soils of Burkina Faso and effects of insecticides on fluctuating asymmetry in honey bees (*Apis mellifera* Linnaeus). *Chemosphere* **83**(4), 585–592.
- Orr A., 2003. Integrated pest management for resource-poor African farmers: Is the Emperor naked? *World Dev.* **31**(5), 831–845.
- Ouattara A., Tiendrébéogo F., Lefeuvre P., Claverie S., Hoareau M., Traoré E.V., Barro N., Traoré O., Lett J-M., 2017. Tomato leaf curl Burkina Faso virus: a novel tomato-infecting monopartite begomovirus from Burkina Faso. *Arch. Virol.* **162**(5), 1427–1429.
- Ouattara B., Savadogo P.W., Traoré O., Koulibaly B., Sedogo P.M., Traoré A.S., 2010. Effet des pesticides sur l'activité microbienne d'un sol ferrugineux tropical du Burkina Faso. *Cameroon J. Exp. Biol.* **6**(1), 11–20.
- Ouédraogo M., 2012. Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. *J. Agric. Environ. Int. Dev.* **106**(1), 3–21.
- Ouédraogo M., Tankoana A., Ouédraogo T.Z., Guissou I.P., 2009. Étude des facteurs de risques d'intoxication chez les utilisateurs de pesticides dans la région cotonnière de Fada N'Gourma au Burkina Faso. *Environnement, Risques Santé* – **8**(4), 343–347.
- Ouédraogo M., Toé A.M., Ouédraogo T.Z., Guissou P.I., 2011. Pesticides in Burkina Faso: Overview of the Situation in a Sahelian African Country. *Pestic. Mod. World - Pestic. Use Manag.* 35–48.
- Ouédraogo R., Toé A.M., Ilboudo S., Guissou P.I., 2014. Risk of workers exposure to pesticides during mixing / loading and supervision of the application in sugarcane cultivation in Burkina Faso. *Int. J. Environ. Sci. Toxicol. Res.* **2**(7), 143–151.
- Oyono Ele A.E.M., 2008. *Risques environnementaux et sanitaires liés à l'utilisation des pesticides dans le maraîchage au Burkina: cas des sites de Tanghin, Boulmiougou et Yitenga*. Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2iE, Ouagadougou, Burkina Faso, 105 p.

- PAFASP, 2014. Rapport final sur le plan de gestion des pestes et pesticides au Burkina Faso. Programme d'Appui au Filières Agro-Sylvo-Pastorales, Ouagadougou, Burkina Faso, 120 p.
- Parker J.E., Snyder W.E., Hamilton G.C., Rodriguez-Saona C., 2013. Companion Planting and Insect Pest Control. *Weed Pest Control - Conv. New Challenges* 1–30.
- Perrin R.M., Phillips M.L., 1978. Some effects of mixed cropping on the population-dynamics of insect pests. *Entomol. Exp. Appl.* **24**, 385–393.
- Pfeiffer D.G., Muniappan R., Sall D., Diatta P., Diongue A., Dieng E.O., 2013. First Record of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Senegal. *Florida Entomol.* **96**(2), 661–662.
- Pimentel D., 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States In Integrated Pest Management: Innovation-Development Process. *Environ. Dev. Sustain.* **7**, 229–252.
- Pingault N., Pleyber E., Champeaux C., Guichard L., Omon, B., 2009. Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures: l'indicateur de fréquence de traitement (IFT). *Notes et études socio-économiques* **32**, 61–94.
- PNDES, 2016. *Plan National de Développement Economique et Social du Burkina Faso de 2016-2020*, Ouagadougou, Burkina Faso, 97 p.
- PNSR, 2011. *Programme National du Secteur Rural*, Ouagadougou, Burkina Faso, 72 p.
- Poet T.S., 2000. Toxicological highlight. Assessing dermal absorption. *Toxicol. Sci.* **58**, 1–2.
- Poutouli W., Silvie P., Aberlenc H.P., 2011. *Hétéroptères phytophages et prédateurs d'Afrique de l'Ouest*, CTA, 79 p.
- Poveda K. Gomez M., Martinez E., 2008. Diversification practices: their effect on pest regulation and production. *Rev. Colomb. Entomol.* **34**(2), 131–144.
- Rafalimanana H.J., 2003. *Evaluation des effets d'insecticides sur deux types d'Hyménoptères auxiliaires des cultures, l'abeille domestique (Apis mellifera L.) et des parasitoïdes de pucerons : études de terrain à Madagascar et de laboratoire en France*, Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, France, 205 p.
- Ramos L.M., Querejeta G.A., Flores A.P., Hughes E.A., Zalts A., Montserrat J.M., 2010. Potential Dermal Exposure in greenhouses for manual sprayers: Analysis of the mix/load, application and re-entry stages. *Sci. Total Environ.* **408**(19), 4062–4068.
- Raynal C., Julhia L., Nicot P., 2014. Fertilisation et sensibilité des cultures de laitue et de tomate aux bioagresseurs. *Innov. Agron.* **34**, 1–17.
- RECA/Niger, 2014. Les semences de tomate disponible au Niger. 2ème version, Réseau des Chambres d'Agricultures du Niger, Niamey, Niger, 17 p.
- Rey F., Carrière J., Ginez A., Giraud M., Goillon C., Goude M., Lambion J., Lefèvre A., Séguret J., Tabone E., Terrentroy A., Trottin-Caudal Y., 2014.

- Stratégies de protection des cultures de tomates sous abri contre *Tuta absoluta*. Protection Biologique Intégrée, Agriculture Biologique. *Cah. Tech.* 16 p.
- Rhino B., Dross C., Momperousse R.J., Thibaut C., Verchere A., Fernandes P., 2014. Intérêt du basilic pour la gestion agroécologique de l'aleurode. *Les Cah. du CAEC / PRAM*, **12**, 6 p.
- Roditakis E., Grispou M., Nauen R., Gravouil M. B.A., 2015. First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. *J. Pest Sci. (2004)*. **88**, 9–16.
- Rouamba A., Belem J., Tarpaga W. V., Otoidobiga L., Ouedraogo L., Konate Y. A. K.G., 2013. *Itinéraire technique de production des tomates d'hivernage fbt*. INERA, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 4 p.
- Ryckewaert P., Fabre F., 2001. Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures maraîchères à La Réunion. *Food Agric. Res. Counc. Réduit, Mauritius*. 99–103.
- SaGE pesticides, 2017. Toxicité des substances actives. <http://www.sagepesticides.qc.ca/Recherche/RechercheMatiere>, (12/11/2017).
- Salas J., 2007. Presencia de *Phthorimaea operculella* y *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae), capturados en trampas con feromonas, en cultivos de tomate en Quibor, Venezuela. *Bioagro* **19**(3), 143–147.
- Samuel O., Dion S., ST-Laurent L., April M.H., 2012. *Indicateur de Risque des Pesticides du Québec - IROeQ - Santé et environnement*, Québec: Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation / Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs/ Institut national de santé publique du Québec, Canada, 48 p.
- Samuel O., St-Laurent L., 2001. *Guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraîchère*. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail, Québec, Canada, 87 p.
- Sanchis V., 2016. La lutte biologique avec *Bacillus thuringiensis*. *Jard. Fr.* **639**, 10–11.
- Sanchis V., Chaufaux J., Lereclus D., 2016. Utilisation de *Bacillus thuringiensis* en protection des cultures et résistance des insectes. *Cah. Agric.* **1995**(4), 405–416.
- Schiffers B., 2011. *Itinéraire technique de la tomate cerise (Lycopersicon esculentum)*, COLEACP/PIP, 46 p.
- Schiffers B., Mar A., 2011. *Sécurité des Opérateurs et Bonnes Pratiques Phytosanitaires*, Manuel n° 4 : COLEACP/PIP Press. Bruxelles / Belgique : Programme PIP/COLEACP, 246 p.
- Schiffers B., Moreira C., 2011. *Fondements de la protection des cultures*, Manuel n° 7 : COLEACP/PIP Press. Bruxelles / Belgique : Programme PIP/COLEACP, 294 p.
- Schiffers B., Samb B., 2011. *Analyse des risques et autocontrôle en production*, Manuel n° 3 : COLEACP/PIP Press. Bruxelles / Belgique : Programme PIP/COLEACP, 154 p.

- Schiffers B., Wainwright H., 2011. *Lutte biologique et protection intégrée*, Manuel n°10: COLEACP/PIP Press. Bruxelles / Belgique: Programme PIP/COLEACP, 128 p.
- Schuster D.J., 2004. Squash as a trap crop to protect tomato from whitefly-vectored tomato yellow leaf curl. *Int. J. Pest Manag.* **50**(4), 281–284.
- Settle W., Soumare M., Sarr M., Garba M.H., Poisot A-S., 2014. Reducing pesticide risks to farming communities: cotton farmer field schools in Mali. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **369**(1639), 20120277–20120277.
- Siegwart M., 2017. Mode d'action des insecticides. In: *Journées d'Echanges Sur Les Résistances Aux Produits de Protection Des Plantes (JER, 2017)*. Bordeaux, France, 34 p.
- Silva G.A., Picanço M.C., Bacci L., Crespo A.L.B., Rosado F.J., Guedes R.N.C., 2011. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *Pest Manag. Sci.* **67**(8), 913–920.
- Siqueira H.A.A., Guedes R.N.C., Fragoso D.B., Magalhaes L.C., 2001. Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Int. J. Pest Manag.* **47**(4), 247–251.
- Siqueira H.A.A., Guedes R.N.C., Picanc M.C., 2000a. Cartap resistance and synergism in populations of *Tuta absoluta* (Lep., Gelechiidae). *J. Appl. Ent.* **124**, 233–238.
- Siqueira H.A.A., Guedes R.N.C., Picanco M.C., 2000b. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agric. For. Entomol.* **2**(2), 147–153.
- Son D., Bonzi S., Somda I., Bawin T., Boukraa S., Verheggen F., Francis F., Legreve A., Schiffers B., 2017a. First Record of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso. *African Entomol.* **25**(1), 259–263.
- Son D., Somda I., Legreve A., Schiffers B., 2016. Comparison of efficiency and selectivity of three bio-insecticides for the protection of tomatoes in Burkina Faso. *Comm. Appl. Biol. Sci, Ghent Univ.* **81**/3, 289–297.
- Son D., Somda I., Legreve A., Schiffers B., 2017b. Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement. *Cah. Agric.* **26**(2).
- Spooner D.M., Anderson G.J., Jansen R.K., 1993. Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes, and pepinos (Solanaceae). *Am. J. Bot.* **80**(6), 676–688.
- Syamimi I., Tengku Hanidza T.I., Puziah A.L., 2011. Estimation of the Pesticide Exposure during Spraying among Applicators. *Heal. environment J.* **2**(1), 18–22.
- Sylla S., Brévault T., Diarra K., 2015. Invasion de la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta*, au Sénégal: dynamique des populations, plantes-hôtes et ennemis naturels. Dakar: UCAD, 1 poster. In: *Séminaire DIVECOSYS Sur La Gestion*

- Agroécologie Des Bioagresseurs En Afrique de l'Ouest*. Dakar, Sénégal, 2 Juin 2015/4 Juin 2015.
- Tan H.L., Thomas-Ahner J.M., Grainger E.M., Wan L., Francis D.M., Schwartz S.J., Erdman J.W., Clinton S.K., 2010. Tomato-based food products for prostate cancer prevention: What have we learned? *Cancer Metastasis Rev.* **29**(3), 553–568.
- Tarla D.N., Manu I.N., Tamedjouong Z.T., Kamga A., Fontem D.A., 2015. Plight of pesticide applicators in Cameroon: case of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Farmers in Foubot. *J. Agric. Environ. Sci.* **4**(2), 87–98.
- Tarla D.N., Meutchieye F., Assako V.A., Fontem D.A., Kome J.J.A., 2013. Exposure of market gardeners during pesticide application in the western highlands of Cameroon. *Sch. J. Agric. Sci.* **3**(90), 172–177.
- Tarnagda B., Tankoano A., Tapsoba F., Sourabié P.B., Abdoullahi H.O., Djbrine A.O., Drabo K.M., Traoré Y., Savadogo A., 2017. Évaluation des pratiques agricoles des légumes feuilles : le cas des utilisations des pesticides et des intrants chimiques sur les sites maraîchers de Ouagadougou, Burkina Faso. *J. Appl. Biosci.* **117**, 11658–11668.
- Tasei J.N., 1996. Impact des pesticides sur les abeilles et les autres pollinisateurs. *Le Courr. l'Environnement l'INRA* **29**, 9–18.
- Team R.C., 2017. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>, (15/06/2017).
- TECHNISEM, 2016. *Semences potagères*, Longué-Jumelles, France, 63 p.
- Toé A.M., 2010. Étude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso, Convention de Rotterdam, 55 p.
- Toé A.M., Ouedraogo M., Ouedraogo R., Ilboudo S., Guissou P.I., 2013. Pilot study on agricultural pesticide poisoning in Burkina Faso. *Interdiscip. Toxicol.* **6**(4), 185–91.
- Tomenson J.A. Matthews G.A., 2009. Causes and types of health effects during the use of crop protection chemicals: Data from a survey of over 6,300 smallholder applicators in 24 different countries. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* **82**(8), 935–949.
- Tonnang H.E.Z., Mohamed S.F., Khamis F., Ekesi S., 2015b. Identification and risk assessment for worldwide invasion and spread of *Tuta absoluta* with a focus on Sub-Saharan Africa: Implications for phytosanitary measures and management. *PLoS One* **10**(8), 1–19.
- Torres J.B., Faria C.A., Evangelista Jr W.S., Pratisoli D., 2001. Within-plant distribution of the leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) immatures in processing tomatoes, with notes on plant phenology. *Int. J. Pest Manag.* **47**(3), 173–178.
- Toumi K., Joly L., Vleminckx C., Schiffers B., 2017. Risk assessment of florists exposed to pesticide residues through handling of flowers and preparing

- bouquets. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **14**(5), 1–19.
- Tyagi H., Gautam T., Prashar P., 2015. Survey of pesticide use patterns and farmers' perceptions : A case study from cauliflower and tomato cultivating areas of district Faridabad, Haryana, India. *Int. J. MediPharm Res.* **1**(3), 139–146.
- US-EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2000. Human Health Risk Assessment Chlorpyrifos 139 p.
- Vayssières J.F., Delvare G., Maldès J.M., Aberlenc H.P., 2001. Inventaire préliminaire des arthropodes ravageurs et auxiliaires des cultures maraichères sur île de la Réunion. *Insect Sci. Applic.* **21**(1), 1–22.
- Villeneuve J., 2007. *Techniques de piégeage en extérieur*, Flor'Insectes, La Maison Neuve, Savennières (France), 3 p.
- Vitali M., Protano C., Del Monte A., Ensabella F., Guidotti M., 2009. Operative modalities and exposure to pesticides during open field treatments among a group of agricultural subcontractors. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **57**(1), 193–202.
- Wall K.D., 2011. The kaplan and garrick definition of risk and its application to managerial decision problems 15 p.
- WHO, 2011. Generic risk assessment model for indoor and outdoor space spraying of insecticides, Geneva, Switzerland, 51 p.
- Wognin A.S., Ouffoue S.K., Assemam E.F., Tano K., 2013. Perception des risques sanitaires dans le maraîchage à Abidjan, Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **7**(5), 1829–1837.
- World Bank, 2015. Rapport thématique sur les filières en agriculture irriguées au Sahel. Initiative pour l'irrigation au Sahel-Lead Analytical Consultant, Dottendorfer, Allemagne, 71 p.
- Wumbei A., 2013. Risk Assessment of Applicator Exposure to Pesticides on Cotton Farms in Ghana. *J. Environ. Earth Sci.* **3**(1), 156–172.
- Wyckhuys K., Bordat D., Desneux N., Quintero L.S.F., 2013. Tuta absoluta. *Un ravageur invasif des cultures maraichères pour l'Afrique sub-saharienne*, COLEACP/PIP, 1-14.
- Yalcin M., Mermer S., Kozaci L.D., Turgut C., 2015. Insecticide resistance in two populations of Tuta absoluta (Meyrick , 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) from Turkey. *Türk. entomol. derg.* **39**(2), 137–145.
- Yarou B.B., Assogba-Komlan F. Tossou E., Mensah A.C., Simon S., Verheggen F.J., Francis F., 2017c. Efficacy of Basil-Cabbage intercropping to control insect pests in Benin, West Africa. *Comm. Appl. Biol. Sci, Ghent Univ.* **82**(2), 157–166.
- Yarou B.B., Bawin T., Boullis A., Heukin S., Lognay G., Verheggen F., Francis F., 2017b. Oviposition deterrent activity of basil plants and their essentials oils against Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae). *Env. Sci Pollut Res* 1–11.
- Yarou B.B., Bokonon-Ganta H.A., Assogba-Komlan F., Mensah C.A.,

- Verheggen F., Francis F., 2017a. Inventaire de l'entomofaune associée au basilic tropical (*Ocimum gratissimum* L., Lamiaceae) dans le Sud Bénin. *Entomol. Faun. – Faun. Entomol.* **Accepté.**
- Yattara A.A.A., Francis F., 2013. Impact des méthodes de piégeage sur l'efficacité de surveillance des pucerons: illustration dans les champs de pommes de terre en Belgique. *Entomol. Faun.* **66**, 89–95.
- Zappalà L., Biondi A., Alma A., Al-Jboory I.J., Arno J., Bayram A., Chailleux A., El-Arnaouty A., Gerling D., guenaoui Y., Shaltiel-Harpaz L., Siscaro G., Stavriniades M., Tavella L., Aznar R.V., Urbaneja A., 2013. Natural enemies of the South American moth, *Tuta absoluta*, in Europe, North Africa and Middle East, and their potential use in pest control strategies. *J. Pest Sci. (2004)*. **86**, 635–647.

Annexes

**Analyse des résidus de pesticides et effet
de *Ocimum basilicum* L. sur *oxysporum* f.
*sp. radicis-lycopersici***

Annexe 1 : Résultats d'analyse de résidus de pesticides dans les échantillons de tomates, d'eau et de sols

Résultats de Kouka, 2016

Résultats d'analyse des échantillons de tomates					Résultats d'analyse des échantillons d'eaux				Résultats d'analyse des échantillons de sols			
Producteurs	Quantités de substances actives (mg/kg) : limite de quantification = 0,01 mg/kg				Quantités de substances actives (mg/kg) : limite de quantification = 0,01 mg/kg				Quantités de substances actives (mg/kg) : limite de quantification = 0,01 mg/kg			
	Profénofos	Lambda-cyhalothrine	Cyperméthrine	Acétamipride	Profénofos	Lambda-cyhalothrine	Cyperméthrine	Acétamipride	Profénofos	Lambda-cyhalothrine	Cyperméthrine	Acétamipride
P 1	0,017	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,032	< 0,010	< 0,010	< 0,010
P 2	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,011	< 0,010	< 0,010	< 0,010
P 3	0,044	0,027	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,058	< 0,010	< 0,010	< 0,010
P 4	0,078	0,012	0,011	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,054	< 0,010	< 0,010	0,016
P 5	0,06	0,041	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,044	< 0,010	< 0,010	< 0,010
P 6	0,049	< 0,010	0,019	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,079	0,037	< 0,010	< 0,010
P 7	0,07	0,017	0,012	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,058	< 0,010	< 0,010	< 0,010
P 8	0,58	0,013	< 0,010	0,011	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,017	< 0,010	< 0,010	< 0,010
P 9	0,017	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,036	0,017	< 0,010	< 0,010
P 10	0,081	0,015	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,028	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Moy (mg/kg+s)	0,111±0,178	0,021±0,011	0,014±0,004	0,011					0,042±0,021	0,027±0,014		0,016

Résultats de Bobo-Dioulasso, 2017

Résultats d'analyse des échantillons de tomates					Résultats d'analyse des échantillons d'eaux				Résultats d'analyse des échantillons de sols			
Traitements	Quantités de substances actives (mg/kg) : limite de quantification = 0,01 mg/kg				Quantités de substances actives (mg/kg) : limite de quantification = 0,01 mg/kg				Quantités de substances actives (mg/kg) : limite de quantification = 0,01 mg/kg			
	Chlorpyrif os-éthyl	Lambda- cyhalothi ne	Imidaclopr ide	DDT	Chlorpyrif os-éthyl	Lambda- cyhalothi ne	Imidaclopr ide	DDT	Chlorpyrif os-éthyl	Lambda- cyhalothi ne	Imidaclopr ide	DDT
Pratique Paysanne	0,016	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,19	< 0,010	0,066	0,024
Pratique Paysanne	0,036	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,033	0,011	< 0,010	0,015
Tomate seule	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Tomate seule	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Tomate + Oignon	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Tomate + Oignon	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Tomate + Ail	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Tomate + Ail	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Tomate + Basilic	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Moy (mg/kg±s)	0,026 ± 0,014								0,112 ± 0,111	0,011	0,066	0,02 ± 0,006

Annexe 2: Efficacy of *Ocimum basilicum* L. extracts against the tomato wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*) in Burkina Faso

DIAKALIA SON^{1,2}, S. BONZI¹, I. SOMDA¹, A. LEGREVE³ & B. SCHIFFERS²

¹Université Nazi Boni (UNB), Institut du Développement Rural (IDR), Unité Santé des Plantes du Laboratoire Systèmes Naturels, Agrosystèmes et Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), 01 BP1091 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

²Gembloux Agro-Bio Tech/ULIEGE—Pesticide Science Laboratory, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgium

³Université Catholique de Louvain (UCL), Earth and Life Institute. Croix du Sud, 2 bte L7.05.03 B-1348-Louvain-la-Neuve, Belgium

Corresponding author E-mail: bruno.schiffers@uliege.be

Summary

Fusarium oxysporum f. sp. *radicis-lycopersici* is the causal agent of tomato stem and root rot. It is a disease of worldwide economic importance. In Burkina Faso, to protect their crops against this fungus, producers are over-using chemical pesticides without achieving the expected results with consequences for human health and environment. As part of research for healthy and effective alternative control methods against this fungus, the efficacy of basil extracts to reduce mycelial growth of *F. oxysporum* was evaluate in vitro. Four concentrations (15%, 20%, 25% and 30%) out of the six tested (5% to 30%) completely inhibited the mycelial growth of the fungus compared to the control consisting of deionized water + malt-agar. Treated seeds with basil aqueous extract and chemical fungicide Calthio C 50 WS (250 g/l of thiram + 250 g/l of chlorpyrifos-ethyl) at a dose of 20 g per 5 kg of seeds were completely disinfected (100%) from *F. oxysporum* compared to infection rate of 92.5% for the control. Emergence rates ranged 14 days after sowing from 53% (untreated seeds) to 74% (seeds treated with basil extract at 20% concentration). Seeds treated with basil extract showed a growth increase rate of 14% compared to untreated seed, 12% compared to treatment with fungicide and 3% compared to treatment with deionized water. These results obtained for basil extracts could lead to the development of biological control against Fusarium wilt of tomato in Burkina Faso.

Keywords: Biological control, *Fusarium oxysporum*, Tomato wilt, *Ocimum basilicum*.

Introduction

In Burkina Faso, tomato is the second vegetable crop after onion, with an estimated production of 289,572 tons in 2014 (MARHASA, 2014). However, during these last years, a decrease of its yields was observed falling from 11.3 tons/ha in 2010 to 9.7 tons/ha in 2014 (FAOSTAT, 2016). This decline of yields is mainly due to a pest and diseases complex, including *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* the causal agent of wilt (Blancard *et al.*, 2009). Fusarium wilt is an economic important disease for tomato production in West Africa (Schiffers, 2011). It colonizes the xylem of the host plant leading to wilting of the leaves, yellowing and possibly the total death of plants in severe cases or at least a considerable reduction of the crop yield (Blancard *et al.*, 2009).

To protect their crops, market gardeners in Burkina Faso over-use chemical pesticides without achieving the expected results. In addition, no registered fungicide able to control *F. oxysporum* in Burkina Faso is available. The consequences are, among others, increased production costs, intoxication of operators, exposure of consumers to pesticides residues in harvested products, pollution of the environment (contamination of water, soil and air) and raise of resistant strains. Moreover pesticides also impact microorganisms, soil macrofauna and many other non-target organisms (Tasei 1996, Fernandes *et al.*, 2010, Isenring 2010, Gountan 2013; Kolia, 2015, Lehmann *et al.*, 2017 ; Son *et al.*, 2018).

Considering the level of damage due to this pathogen in tomato production in Burkina Faso and the negative consequences of pesticides, it was necessary to find non-chemical solutions for the treatment of soils, seeds and plants. Plant extracts could play a significant role in the inhibition of the seed-borne pathogens to obtain a seed quality and emergence of plants. These extracts have less negative impacts on human health and the environment unlike chemical pesticides (Hibar *et al.*, 2007, Sallam, 2011, Gurjar *et al.*, 2012, Nashwa and Abo-Elyousr, 2012, Ademe *et al.*, 2013, Akladious *et al.*, 2014 ; Parveen *et al.*, 2014, Ramaiah and Garampalli , 2015). According to Kamalakannan *et al.* (2004), treatments with plant extracts can provide control of many fungal diseases through metabolic changes in plants, including induction of phenol biosynthesis enzymes, antioxidant defensive enzymes and phenol accumulation.

Considered as a medicinal plant (Javanmardi *et al.*, 2002; Nahak *et al.*, 2011; Marwat *et al.*, 2011; Khair-ul-Bariyah *et al.*, 2012), *Ocimum basilicum* has been already successfully tested against fungi of soil and seeds like *F. Oxysporum* (Mohamed *et al.*, 2012, Dissanayake and Jayasinghe, 2013, Akladious *et al.*, 2014; Omidpanah *et al.*, 2015). Many studies have showed that basil contains antioxidant compounds such as rosmarinic acid, b-carotene and tocopherol which have anti-fungal, antimicrobial and anti-apoptotic properties (Kaya *et al.* 2008; Isaac and Abu-Tahon 2014).

In the present study, antifungal activity of aqueous extracts of basil (*Ocimum basilicum*) against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* is evaluated.

Materials and methods

The study was conducted at the Plant Health Unit of the Natural Systems, Agrosystems and Environmental Engineering Laboratory « Unité Santé des Plantes du Laboratoire Systèmes Naturels, Agrosystèmes et Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E) », in the Institute of Rural Development at Nazi Boni University, Burkina Faso.

Evaluation of antifungal activity of O. basilicum on the mycelial growth of F. oxysporum

Plant pathogen and preparation of aqueous extract of *O. basilicum*

The pathogen strain (*Fusarium oxysporum*) used in this study was isolated on March 15, 2017 in the "SyNAIE" laboratory starting at diseased tomato plants collected in the area of Dogona (Bobo-Dioulasso, Burkina Faso) showing symptoms of wilt and crown rot.

The leaves of basil (*Ocimum basilicum* L.) were harvested during the flowering stage on March 7, 2017, in experimental plots of Plant Clinic (Institute of Rural Development), at Dogona (N = 11 ° 12.654 'and W = 004 ° 16.881') and Sonsogona (N = 11 ° 09.879 'and W = 004 ° 18.910'). After harvest leaves were washed several times with running tap water and dried on sun. Dried leaves were ground to fine powder and sieved with an 80 mesh sieve. Six concentrations (5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30%) of the aqueous extracts were prepared according to the procedure described by Somda *et al.* (2003). For each concentration, the powder of basil was blended in 100 mL of sterilized distilled water for 24 h at 25° C.

After maceration during 24 hours, the extracts were squeezing through fine cloth and filtered through a Whatman N°1 filter paper. The filtrates were then sterilized by autoclaving before their usage for inhibition tests on the mycelial growth of *F. oxysporum*.

Preparation of culture media and incubation

The aqueous extract at different concentrations (5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30%) of each sterilized stock solution was added to a specified amount of potato dextrose agar (PDA) in Petri dishes. PDA dishes were also prepared with distilled water and conserved as negative control. The mixture was sterilized by autoclaving 30 minutes at 120° C. After cooling, a 6 mm diameter disc of the actively growing mycelium (7 days old) was placed in the center of the Petri for each treatment. The Petri dishes were sealed with para-film and incubated for 10 days under an alternating cycle of ultraviolet light and darkness (12 h / 12 h) at 22-25° C.

The trial was carried out in four repetitions of a control (**T0**: deionized water and malt-agar) and five treatments with basil extract at various concentrations in water: **T1**: 5% concentration; **T2**: 10% concentration; **T3**: 15% concentration; **T4**: 20% concentration; **T5**: 25% concentration; **T6**: 30% concentration.

Evaluation of effect of the extract on fungal growth

The radial growth of mycelium was measured along two perpendicular lines traced on the reverse side of each Petri plate at the 4th, 7th and 10th days after incubation. The percent inhibition of the fungus in each treatment was calculated using following formula (Nduagu *et al.*, 2008):

$$\text{Inhib (\%)} = [(M0 - Mc)/M0] \times 100$$

Where Inhib (%) is the inhibition percentage; M0 is the mean diameter colony radius of fungus in the control plates and Mc is the mean diameter of the pathogen colony in each treatment.

Evaluation of the effect of *O. basilicum* on the sanitary quality of seeds

The effect of *O. basilicum* extract on seed mycoflora of tomato was evaluated with the concentrations (15%, 20%, 25% and 30%). They have completely inhibited the mycelial growth of *F. oxysporum* during the test in vitro. After preparation of the different concentrations, 200 tomato seeds were soaked in each concentration for 24 hours. The seeds soaked were then dried under aseptic conditions under a laminar flow hood. Untreated seeds were used as a negative control. Seeds treated with deionized water and those treated with Calthio C 50 WS (250 g/l of thiram + 250 g/l of chlorpyrifos-ethyl) at a dose of 20 g per 5 kg of seeds, were used as a positive reference controls.

The treated seeds were placed in Petri dishes containing three layers of paper moistened with sterilized distilled water. 25 seeds were equidistantly placed in each Petri dish. Eight Petri dishes were used per treatment; each plate being considered as a repetition. The plates thus seeded were incubated at 22-25° C. under an alternating cycle of ultraviolet light and darkness (12 h / 12 h) for 7 days.

At the end of the incubation, the seeds were individually observed under a stereo microscope to identify the fungi using the morphological characteristics described by Mathur and Kongsdal (2003). For each fungal species identified, the number of infected seeds was evaluated and the percentage of infection by each fungus was calculated. The infection reduction rate of treated seeds compared to untreated seeds (negative control) was calculated according to method used by Dabiré *et al* (2016):

$$\text{Reduc (\%)} = [(Iuts - Its) / Iuts] \times 100$$

With: Reduc (%) = Percentage reduction of infection rate; Iuts = infection rate of untreated seeds; Its = infection rate of treated seeds.

Evaluation of the effect of *O. basilicum* on the germination and growing of tomato plants

A trail was designed to evaluate the potential inhibition of *O. basilicum* on the germination and growth of tomato plants. The treatments remained similar to those used to evaluate the effect of *O. basilicum* on seeds mycoflora. Treated seeds were sown to a depth of 3 cm in pot containing 800 ml of a substrate composed by mixing potting soil and sand (¾, ¼) which was sterilized at 120° C for 24 h.

The seeds were sown to a depth of 3 cm in each pot. Four pots (each containing 25 seeds) were used for each treatment. The seeded pots were placed under ordinary

conditions, protected with insect nets, watered every day morning and evening with an equal amount of water.

The germination percentage of seeds was assessed 7 and 14 days after seedling (DAS) (Mathur *et al.*, 2003). Tomato plants were also checked for foliar symptoms of Fusarium wilt disease. Twenty one days after sowing (corresponding to the transplanting period), plants and roots lengths and fresh mass were evaluated for 10 plants per pot.

Statistical analysis

The results were subjected to two-way analysis of variance (ANOVA) after verification of the normality of the data (Shapiro-Wilk test) with the GenStat software, edition 11. The mean differences were compared by pair with the Tukey HSD test at 5% significance level.

Results

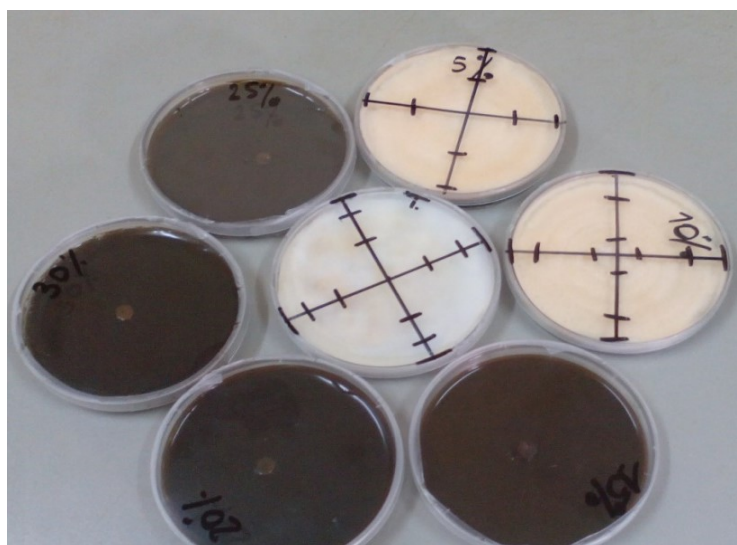
In vitro effect of O. basilicum on mycelial growth of F. oxysporum

The results showed a highly significant difference ($P < 0.001$) between treatments in the inhibition of the mycelial growth of *F. oxysporum* (**Table 1**). No significant difference was observed between the control consisting of deionized water + malt-agar and the basil at 5% concentration on 4th and 7th day after incubation (DAI). A significant difference was noted between the control and basil at 10% concentration at 4th DAI, but not at 7th DAI. However, basil at 15%, 20%, 25% and 30% concentration, completely inhibited the mycelial growth of the fungus during all observation dates (**Table 1 and Figure 1**).

Table 1. Percent inhibition of mycelial growth of *F. oxysporum* by *O. basilicum* extract 4 and 7 days after incubation (DAI).

Treatments	4 DAI		7 DAI	
	Mycelian growth (cm)	% inhibition	Mycelian growth (cm)	% inhibition
T0 (Control)	4.83 ^a		7.93 ^a	
T1 (basil extract at 5% concentration)	4.45 ^a	8	8.48 ^a	-7
T2 (basil extract at 10% concentration)	2.40 ^b	50	6.55 ^a	17
T3 (basil extract at 15% concentration)	0.00 ^c	100	0.00 ^b	100
T4 (basil extract at 20% concentration)	0.00 ^c	100	0.00 ^b	100
T5 (basil extract at 25% concentration)	0.00 ^c	100	0.00 ^b	100
T6 (basil extract at 30% concentration)	0.00 ^c	100	0.00 ^b	100
P	<0.001		<0.001	

In a column, means followed by different letters indicate a significant difference at 5% according to Tukey's multiple range test. P = Probability.

**Figure 1.** In vitro inhibition effect of *O. basilicum* on mycelial growth of *F. oxysporum*, 7 days after incubation

Effect of O. basilicum aqueous extract on seed mycoflora

The fungicidal activities of *O. basilicum* aqueous extract against seed-borne fungi are shown in **Table 2**. It was observed a highly significant difference ($P < 0.001$) in terms of seed infection by *F. Oxysporium* between those treated with *O. basilicum* aqueous extracts (15%, 20%, 25% and 30%) or with chemical fungicide (Calthio C 50 WS) compared to untreated seeds (negative control) and those treated with deionized water. The infection rate of seeds by *F. Oxysporium* was 92.5% on untreated seed, 20% on those treatment with deionized water and 0% on those treated with Calthio C or *O. basilicum*. Other less virulent fungi (*Rhizopus sp* and *Cladasporium sp*) were found in significant proportions on untreated seeds compared to those treated with calthio or *O. basilicum* (**Table 2**).

Table 2. Effect of a fungicide and various concentrations of *O. basilicum* extract on the incidence of four seed- borne fungi.

Treatments	Seed infection indices (and reduction percentage)			
	<i>F. oxysporum</i>	<i>Rhizopus sp.</i>	<i>A. flavus</i>	<i>Cladasporium m sp.</i>
Untreated seeds	23.13 ^a	1.13 ^a	0.00 ^a	0.38 ^a
Seeds treated with deionized water	3.62 ^b (86%)	0.00 ^b (100%)	0.13 ^a (99.5%)	0.00 ^b (100%)
Seeds treated with Calthio C 50 WS (250 g/l of thiram + 250 g/l of chlorpyrifos-ethyl)	0.00 ^c (100%)	0.00 ^b (100%)	0.00 ^a (100%)	0.00 ^b (100%)
Seeds treated with basil extract at 15% concentration	0.00 ^c (100%)	0.25 ^{ab} (99%)	0.00 ^a (100%)	0.00 ^b (100%)
Seeds treated with basil extract at 20% concentration	0.00 ^c (100%)	0.00 ^b (100%)	0.00 ^a (100%)	0.00 ^b (100%)
Seeds treated with basil extract at 25% concentration	0.00 ^c (100%)	0.25 ^{ab} (99%)	0.00 ^a (100%)	0.00 ^b (100%)
Seeds treated with basil extract at 30% concentration	0.00 ^c (100%)	0.00 ^b (100%)	0.00 ^a (100%)	0.00 ^b (100%)
P	<0.001	0.007	0.438	0.002

In a column, means followed by different letters indicate a significant difference at 5% according to Tukey's multiple range test. P = Probability.

Effect of O. basilicum on the germination and growth of tomato plants

The effects of *O. basilicum* extract on the incidence on germination of tomato seeds and growing of plants are presented in **Table 3**. No significant differences were observed between treatments in terms of seed germination at 7th and 14th days after sowing. However, the highest germination rates are obtained with basil treated seeds. Germination rates range from 53% (untreated seeds) to 74% (seeds treated with basil extract at 20% concentration) 14 days after seedling.

The growth parameters of tomato plants in terms of shoot and root lengths as well as fresh weights of plants also vary from one treatment to another ($P < 0.001$) (**Table 3**). Seeds treated with basil extract showed a growth increase rate of 14% compared to untreated seed, 12% compared to treatment with fungicide and 3% compared to treatment with deionized water.

The root length ranges from 2.19 cm (untreated seeds) to 2.93 cm (seeds treated with basil at 20% concentration), either, of thought rate at 34% growth rate compared to untreated seeds and 33% compared to chemical fungicide treated seeds.

The fresh weight of plants ranges from 3.33 g (seeds treated with basil at 15% concentration) to 5.32 g (seeds treated with basil at 20% concentration). The growth rate of seeds treated with basil at 20% concentration is 36% higher than untreated seeds, 31% higher than treated seeds with deionized water and 25% higher than those treated with chemical fungicide.

Overall, the basil extract at 20% concentration favors the growth and vigor of tomato plants compared to other treatments.

Table 3: Effect of a fungicide and various concentrations of *O. basilicum* extract on the incidence of seed germination and on the growth parameters of tomato plants

Treatments	Germination rate (%)		Length (cm)		Fresh mass of plantlets (g)
	7 DAT	14 DAT	plantlets	roots	
Untreated seeds	39	53	5.54 ^{ab}	2.19 ^a	4.03 ^{ab}
Seeds treated with deionized water	42	59	6.10 ^{bcd}	2.44 ^a	3.87 ^{ab}
Seeds treated with Calthio C 50 WS (250 g/l of Thiram + 250 g/l of Chlorpyrifos-ethyl)	46	63	5.61 ^{abc}	2.21 ^a	4.24 ^{ab}
Seeds treated with basil extract at 15% concentration	43	69	5.63 ^{abc}	2.53 ^{ab}	4.43 ^{ab}
Seeds treated with basil extract at 20% concentration	40	74	6.67 ^d	2.93 ^b	5.32 ^b
Seeds treated with basil extract at 25% concentration	43	73	5.28 ^a	2.18 ^a	3.33 ^a
Seeds treated with basil extract at 30% concentration	38	70	6.31 ^{cd}	2.59 ^{ab}	5.28 ^{ab}
P	0.926	0.266	<0.001	<0.001	0.031

In a column, means followed by different letters indicate a significant difference at 5% according to Tukey's multiple range test. P = Probability.

Discussion

The *O. basilicum* aqueous extracts $\leq 10\%$ of concentration have been least effective in suppressing the mycelial growth of *F. oxysporum*. The same observation was made by Chohan *et al.* (2011) who noted that *O. basilicum* extract in water at 8% was the least effective in the suppression of mycelial growth of *F. oxysporum* compared to *Azadirachta indica* A., *Datura stramonium* L., *Tagetes erecta* L. and *Allium sativum* L. at the same concentration. However, for concentration equal or higher than 15% *O. basilicum* extract completely inhibited mycelial growth of the fungus. These results show the efficacy of *O. basilicum* compared to other plants extracts tested in Burkina Faso (*Cymbopogon citratus* DC., *Balanites aegyptiaca* D. or *Portulaca oleracea* L.), which had an inhibitory effect on seeds and soil fungi from 30% concentration (Bonzi *et al.*, 2012; Dabiré *et al.*, 2016). Efficacy seems also better than Ramaiah and Garampalli (2015) who obtained results less than 80% on the inhibition of mycelial growth of *F. oxysporum* with *Solanum indicum* L., *A. indica* and *Oxalis latifolia* K. at 60% concentration. *O. basilicum* at 15% appears to be more effective than *O. gratissimum* at 25% which had inhibited the mycelial growth of *F. oxysporum* for less than 90% (Dissanayake, 2014).

In seed treatments, basil extracts upper than 15% allowed to completely disinfect the tomato seeds of *F. oxysporum*. According to results, *O. basilicum* appears to be more effective in treating seeds against the main seed fungi in Burkina Faso, since from 15% concentration it gives satisfactory results compared to *C. citratus*, *B. aegyptiaca* and *P. oleracea* which gives satisfactory results from 30% concentration (Bonzi *et al.*, 2012, Dabiré *et al.*, 2016). This result indicates that basil leaves contain interesting antifungal properties that could inhibit the growth of certain seed and soil fungi. These results confirm the conclusions of Marwat *et al.* (2011), Mohamed *et al.* (2012) and Akladious *et al.* (2014) who affirmed that *O. basilicum* contains antifungal properties.

O. basilicum at 15% concentration appear even more effective than some fungicides (mancozeb and copper oxychloride) at 60% tested by Ramaiah and Garampalli (2015) against *F. oxysporum* as the inhibition rate on mycelial growth was under 85%.

O. basilicum extracts whatever were the concentrations do not present toxicity on tomato seeds. These results are in agreement with Nwachukwu and Umechuruba (2001), Akladious *et al.* (2014) and EL-Dahab *et al.* (2016) who did not observe a toxicity of *O. basilicum* on the bean and tomato seeds germination, but contrary, an improvement of the germination and growth of plants.

Conclusion

This study has shown that leaf extracts of *Ocimum basilicum* can be used to treat seeds for the control of seed-borne fungi, mainly *Fusarium oxysporum*, with a benefit on seed germination and growth parameters of tomatoes. These first promising results show that basil could be exploited for the development of an effective biological control agent against Fusarium wilt of tomato in Burkina Faso.

Further studies on isolation and characterization of the active (antifungal) compound are needed for the benefits of mankind.

Acknowledgements

We would like to thank Mr. Ollo PALLE, technician of the Laboratory « Unité Santé des Plantes du Laboratoire Systèmes Naturels, Agrosystèmes et Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E) », in the Institute of Rural Development at Nazi Boni University, Burkina Faso for his support in carrying out this work and especially in the characterization of fungi. Our thanks also go to all those who contributed to correct English, especially Dr Michel KERE of Nazi Boni University, Burkina Faso.

References

- Ademe A, Ayalew A, Woldetsadik K.,2013. Evaluation of Antifungal Activity of Plant Extracts against Papaya Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). *J Plant Pathol Microb* 4: 207. doi:[10.4172/2157-7471.1000207](https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000207)
- Akladiou SA, Isaac GS, Abu-Tahon MA., 2015. Induction and resistance against Fusarium wilt disease of tomato by using sweet basil (*Ocimum basilicum* L) extract. *Can. J. Plant Sci.* 95: 689-701 doi:10.4141/CJPS-2014-127
- Blancard D., Laterrot, H., Marchoux, G., Candresse T., 2009. Les maladies de la tomate, identifier, connaître, maîtriser, Paris, INRA éditions Quae, 679 p
- Bonzi S, Somda I, Zida PE, Sérémé P.,2012. *In vitro* antifungal activity of various local plant extracts in the control of *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema *et al.* and *Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson, as sorghum seed mold pathogen in Burkina Faso, *Tropicicultura*, 30 (2) : 103-106
- Chohan S, Atiq R, Mehmood MA, Naz S, Siddique B, Yasmin G., 2011. Efficacy of few plant extracts against *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*, the cause of corm rot of gladiolus. *Journal of Medicinal Plants Research* : 5(16), 3887-3890
- Dabiré TG, Bonzi S, Somda I, Legrève A., 2016. Activité antifongique d'extraits aqueux de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf., *Eclipta alba* (L.) Hassk. et *Portulaca oleracea* (L.) contre les principaux champignons transmis par les semences d'oignon (*Allium cepa* L.) au Burkina Faso, *International Journal of Innovation and Applied Studies* : 17 (3) 804-812
- Dissanayake MLMC, Jayasinghe JAN., 2013. Antifungal activity of selected medicinal plant extracts against plant pathogenic fungi; *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum musea* and *Fusarium oxysporum*. *International Journal of Science Inventions Today* : 2 (5), 421-431.
- Dissanayake MLMC., 2014. Inhibitory effect of selected medicinal plant extracts on phytopathogenic fungus *fusarium oxysporum* (Nectriaceae)

- Schlecht. Emend . Snyder and Hansen. *Annual Research & Review in Biology* 4(1):133-142
- EL-Dahab MSA, El-Ward A, Ibrahim A, Yousof F.I., 2016. Effect of Some Plant Extracts on Seed Viability and Seed Borne Fungi of Sorghum Seed During Storage Periods. *Research Journal of Seed Science*, 9 (1) :5-13. DOI: 10.3923/rjss.2016.5.13
- FAOSTAT. 2016. Situation de la production de tomates au Burkina Faso. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>.
- Fernandes F.L., Bacci L. F.M.S., 2010. Impact and selectivity of insecticides to predators and parasitoids. *EntomoBrasilis* 3(1), 1–10.
- Gountan A, 2013. *Effet des pesticides et de différents types de matière organique sur la macrofaune et la microflore d'un sol sous culture pluviale de tomate (Lycopersicum esculentum Limé)*, Master 2 en science du sol. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 71 p.
- Gurjar MS, Ali S, Akhtar M, Singh KS., 2012. Efficacy of plant extracts in plant disease management. *Agricultural Sciences* : 3 (3), 425-433
- Hibar K, Daami-Remadi M, El Mahjoub M., 2007.Effets de certains fongicides de synthèse et biologiques sur la croissance mycélienne et l'agressivité de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Tropicultura*, 25 (3) : 146-152
- Isenring R., 2010. *Les pesticides et la perte de biodiversité. Comment l'usage intensif des pesticides affecte la faune et la flore sauvage et la diversité des espèces*, Pesticide Action Network Europe, Bruxelles, Belgique, 31 p.
- Issac G., Abu-Tahon M., 2014. In vitro antifungal activity of medicinal plant extract against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 the causal agent of tomato wilt. *Acta Biol. Hung.*65 : 107-118.
- Javanmardi J, Khalighi A, Kashi A, Bais HP, Vivanco JM, 2002. Chemical Characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.) found in local accessions and used in traditional medicines in Iran. *J. Agric. Food Chem* : 50, 5878–5883
- Kamalakkannan A., Mohan L., Harish S., Radjacommare R., Amutha G., Chitra K., Karuppiyah R., Mareeswari P., Rajinimala N., Angayarkanni T., 2004. Biocontrol agents induce disease resistance in *Phyllanthus niruri* Linn against damping-off disease caused by *Rhizoctonia solani*. *Phytopathol. Mediterr.*, 43, 187–194.
- Kaya I., Yiğit N., Benli M., 2008. Antimicrobial activity of various extracts of *Ocimum basilicum* L. and observation of the inhibition effect on bacterial cells by use of scanning electron microscopy. *Afr. J. Trad. CAM.*, 5 (4): 363 – 369.
- Khair-ul-Bariyah S, Ahmed D, Ikram M., 2012. *Ocimum Basilicum*: A Review on Phytochemical and Pharmacological Studies. *Pakistan Journal of Chemistry*, 2 (2):78-85

- Kolia Y.P.M., 2015. *Analyse des résidus de pesticides dans les produits maraichers sur le site du barrage de Loumbila au Burkina Faso : Évaluation des risques pour la santé*, Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2iE/ Ouagadougou, Burkina Faso, 78 p.
- Lehmann E., Turrero N., Kolia M., Konaté Y., De Alencastro L.F., 2017. Dietary risk assessment of pesticides from vegetables and drinking water in gardening areas in Burkina Faso. *Sci. Total Environ.* **601–602**, 1208–1216.
- MARHASA, 2014. Superficies et production maraîchère par région (campagne 2013-2014)., Ministère de l'Agriculture, des Ressources Halieutiques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Marwat SK, Ur-Rehman F, Khan MS, Ghulam S, Anwar N, Mustafa G, Usman K., 2011. Phytochemical Constituents and Pharmacological Activities of Sweet Basil-*Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). *Asian Journal of Chemistry* : 23 (9), 3773-3782
- Mathur SB, Njala M, Kongsdal O, 2003. An illustrated handbook on normal an abnormal seedlings of tropical and subtropical crops. First edition, 101p.
- Mohamed SR, Deabes MM, Abdel-Motaleb NM, Mohamed SS, Badr AN, Shaban EM, Khalil AF, 2012. Antifungal Activity of Basil and Mustard Essential oils Against Spoilage Toxigenic Fungi in Egyptian pan Bread and its Economic Evaluation. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(11): 5536-5542
- Nahak G, Mishra RC, Sahu RK., 2011. Taxonomic Distribution, Medicinal Properties and Drug Development Potentiality of *Ocimum* (Tulsi) Review Article, *Drug Invention Today* : 3(6), 95-113
- Nashwa SMA, Abo-Elyousr KAM, 2012. Evaluation of Various Plant Extracts against the Early Blight Disease of Tomato Plants under Greenhouse and Field Conditions. *Plant Protect. Sci*, 48 (2), 74–79
- Nduagu C, Ekefan EJ. and Nwankiti AO, 2008. Effect of some crude plant extracts on growth of *Colletotrichum capsici* (Synd) & Bisby, causal agent of pepper anthracnose. *Journal of Applied Biosciences* 6(2): 184 – 190.
- Nwachukwu EO, Umechuruba CI., 2001. Antifungal Activities of Some Leaf Extracts on Seed-borne Fungi of African Yam Bean Seeds, Seed Germination and Seedling Emergence. *J. Appl. Sci. Environ. Mgt* : 5(1), 29-32.
- Omidpanah S, Sadeghi H, Sarcheshmeh MM, Manayi A, 2015. Evaluation of antifungal activity of aqueous extracts of some medicinal plants against *Aspergillus flavus*, pistachio aflatoxin producing fungus *in vitro*. *Drug Development and Therapeutics* : 6 (2), 66-69
- Parveen S, Wani AH, Ganie AA, Pala SA, Mir RA, 2014. Antifungal activity of some plant extracts on some pathogenic fungi, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47:3, 279-284. DOI:10.1080/03235408.2013.808857

- Ramaiah AK, Garampalli RKH, 2015. *In vitro* antifungal activity of some plant extracts against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*, *Asian Journal of Plant Science and Research* : 5(1):22-27
- Sallam NMA., 2011. Control of tomato early blight disease by certain aqueous plant extracts. *Plant Pathologie Journal*: 10 (4), 187-191
- Schiffers B., 2011. Itinéraire technique de la tomate cerise (*Lycopersicon esculentum*). COLEACP/PIP. 46p.
- Somda I., Sanou P., Michaud J. M., Sanou J., 2003. Efficacité des extraits aqueux de citronnelle et de pourpier dans la lutte contre les champignons transmis par les semences de maïs, *Science et technique, Série Sciences naturelles et Agronomie*, vol. 27, no.1, pp. 29-40.
- Son D., Zerbo F.K.B., Bonzi S., Legrève A., Somda I., Schiffers B., 2018. Assessment of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Producers' Exposure Level to Pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15, 204. Doi:10.3390/ijerph15020204.
- Tasei J.N., 1996. Impact des pesticides sur les abeilles et les autres pollinisateurs. *Le Courr. l'Environnement l'INRA* **29**, 9–18.